

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra Elektroenergetiky**

**Návrh energetické jednotky pro ostrovní provoz.**

Energy Unit Design for Off-Grid Operation.

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Petr Kubalík**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Návrh energetické jednotky pro ostrovní provoz.  
Energy Unit Design for Off-Grid Operation.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Definice zátěže
3. Výpočet kapacity akumulace
4. Návrh zdrojů
5. Závěr
1. Introduction
2. Load definition
3. Storage devices sizing
4. Design of energy sources
5. Conclusions

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] M. Anderson, D. Carr, Battery energy storage technologies, Proceedings of the IEEE 81 (3) (1993) 475–479.
- [2] W. Lachs, D. Sutanto, Application of battery energy storage in power systems, Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2, February 21–24, 1995, pp. 700–705.
- [3] N. Miller, R. Zrebiec, R. Delmerico, G. Hunt, Battery energy storage systems for electric utility, industrial and commercial applications, in: Proceedings of the Eleven-th Annual Battery Conference on Applications and Advances, January 9–12, 1996, pp. 235–240.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení Studenta:**

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne .....

Podpis.....

## **Poděkování:**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Lukáši Prokop Ph.D. za odbornou pomoc, připomínky a cenné rady při zpracovávání diplomové práce.

## **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem energetické jednotky pro ostrovní provoz. Nejprve jsou popsány problémy spojené s výkonovým a energetickým potenciálem vybraných zdrojů el. energie. Následně jsou jednotlivé komponenty systému popsány a je zde vysvětlen jejich princip a použití. V druhé části práce je popsán návrh energetické jednotky pro rodinný dům a chatu, výběr použitých komponentů, vyhodnocena návratnost a vhodnost použití pro různé varianty.

Diplomová práce může sloužit jako zdroj informací při návrhu ostrovních systémů pro komerční použití.

## **Klíčová slova:**

ostrovní systém, akumulátor, regulátor, střídač, větrná elektrárna, fotovoltaická elektrárna, záložní zdroj, motorgenerátor

## **Abstract:**

Thesis deals with design of energetic unit for grid system. Firstly thesis describes problems associated with power and energy potential of selected electrical energy resources. Consequently the individual components of system are described and their usage and principle are explained. Second part of thesis describes the design of power unit for house and cabin, choice of used components, evaluation of return is made and suitability for different options is made too.

The thesis can serve as a source of information in the design of grid systems for commercial use.

## **Keyword:**

island system, battery, regulator, inverter, wind power, photovoltaic power plant, Uninterruptible Power Supply, generator

### **Seznam použitých zkratk a symbolů:**

ČR	Česká republika
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FVP	Fotovoltaický panel
FV	Fotovoltaika
FVČ	Fotovoltaické články
FVS	Fotovoltaické systémy
VTE	Větrná elektrárna
f [Hz]	Frekvence
P [W]	Činný výkon
S [VA]	Zdánlivý výkon
P <sub>i</sub> [W]	Instalovaný činný výkon
U [V]	Napětí
W <sub>p</sub>	Špičkový instalovaný výkon
U [V]	Napětí
LPG	Liquefied petroleum gas
LiFePO <sub>4</sub>	Lithium železo fosfátové akumulátory
OpZS	Uzavřená větraná olověná baterie
Ni-Cd	Níkl-kadmiové
NiMH	Níkl-metalhydridové
Li-Ion	Lithium-Iontové
ot/min	Otáček za minutu
VRB	Vanad redoxové
PVGIS	Fotovoltaický Geografický Informační Systém
atd.	a tak dále
např.	například

k	Kilo jednotka SI soustavy $10^3$
M	Mega jednotka SI soustavy $10^6$
G	Giga jednotka SI soustavy $10^9$
m	Mili jednotka SI soustavy $10^{-3}$
$\mu$	Mikro jednotka SI soustavy $10^{-6}$



# Obsah:

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2. JEDNOTLIVÉ PRVKY ENERGETICKÉ JEDNOTKY .....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>2.1. Větrné elektrárny .....</b>	<b>- 2 -</b>
2.1.1. Větr .....	- 2 -
2.1.2. Energie a výkon větru .....	- 4 -
2.1.3. Volba stanoviště .....	- 5 -
2.1.4. Princip funkce VTE.....	- 6 -
2.1.5. Elektrická zařízení větrných elektráren .....	- 8 -
2.1.6. Základní rozdělení VTE .....	- 9 -
2.1.7. Regulace výkonu VTE .....	- 11 -
2.1.8. Výhody a nevýhody VTE.....	- 11 -
<b>2.2. Fotovoltaické elektrárny.....</b>	<b>- 12 -</b>
2.2.1. Situace v ČR.....	- 12 -
2.2.2. Princip funkce FVČ.....	- 14 -
2.2.3. Základní typy FVČ z hlediska dlouhodobého vývoje .....	- 19 -
2.2.4. Dělení ostrovních systémů podle instalovaného výkonu .....	- 21 -
2.2.5. Výhody a nevýhody .....	- 23 -
<b>2.3. Elektrocentrály .....</b>	<b>- 24 -</b>
2.3.1. Typy .....	- 24 -
2.3.2. Výkon.....	- 25 -
2.3.3. Motor.....	- 25 -
2.3.4. Automatický start .....	- 25 -
2.3.5. Výhody a nevýhody .....	- 26 -
<b>2.4. Solární regulátor .....</b>	<b>- 27 -</b>
2.4.1. Klasický solární regulátor .....	- 27 -
2.4.2. MPPT měnič.....	- 27 -
<b>2.5. Akumulátory.....</b>	<b>- 28 -</b>
2.5.1. Olověné akumulátory .....	- 29 -
2.5.2. Lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePO <sub>4</sub> ).....	- 29 -
2.5.3. Srovnání LiFePO <sub>4</sub> olověného akumulátoru .....	- 30 -
<b>2.6. Odpojovač spotřebičů .....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>2.7. Vzdálené sledování a ovládání .....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>2.8. Měniče napětí.....</b>	<b>- 31 -</b>
2.8.1. Měnič s modifikovanou sinusovkou.....	- 32 -
2.8.2. Měnič s čistou sinusovkou .....	- 33 -
<b>3. VLASTNÍ NÁVRH ENERGETICKÉ JEDNOTKY (RODINNÝ DŮM) .....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>3.1. Spotřeba el. energie.....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>3.2. Ztráty v ostrovním systému.....</b>	<b>- 35 -</b>
<b>3.3. Dimenzování akumulátorů .....</b>	<b>- 37 -</b>
<b>3.4. Dimenzování FVP .....</b>	<b>- 38 -</b>
3.4.1. Teoretický návrh ostrovního systému celoroční provoz (bez VTE).....	- 39 -
3.4.2. Teoretický návrh hybridního systému pro celoroční provoz (s VTE).....	- 40 -

3.5.	Dimenzování VTE .....	- 41 -
3.6.	Celkový návrh zdroje el. energie pro rodinný dům .....	- 44 -
3.7.	Výběr součástí pro ostrovní provoz (rodinný dům) .....	- 45 -
4.	<b>VLASTNÍ NÁVRH ENERGETICKÉ JEDNOTKY (CHATA) .....</b>	<b>- 54 -</b>
4.1.	Spotřeba el. energie .....	- 54 -
4.2.	Ztráty v ostrovním systému.....	- 54 -
4.3.	Dimenzování akumulátorů .....	- 56 -
4.4.	Dimenzování FVP .....	- 56 -
4.4.1.	Teoretický návrh hybridního systému pro chatu s celoročním provozem.....	- 57 -
4.5.	Dimenzování VTE .....	- 58 -
4.6.	Celkový návrh zdroje el. energie pro chatu .....	- 59 -
4.7.	Výběr součástí pro ostrovní provoz (chata) .....	- 61 -
5.	<b>FINANČNÍ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>- 69 -</b>
5.1.	Varianta pro rodinný dům .....	- 69 -
5.2.	Varianta pro chatu .....	- 70 -
6.	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>- 72 -</b>

## 1. Úvod

Tato práce se zabývá návrhem energetické jednotky pro ostrovní provoz. Za ostrovní systémy jsou označovány takové systémy, které nejsou připojeny k rozvodné síti a pracují na této soustavě nezávisle. Ostrovní systémy se používají k zásobování elektrickou energií v místech, kde využití běžné distribuční sítě není vhodné nebo není ani technicky možné. Takovýchto míst je naší planetě mnoho.

Ostrovní systémy využívají jako zdroj el. energie většinou obnovitelné zdroje energie, které jsou doplněny o záskokový zdroj pracující při špatných klimatických podmínkách. Mezi nejrozšířenější zdroje patří fotovoltaické systémy, větrné elektrárny, malé vodní elektrárny, bioplynové agregáty a elektrocentrály.

Volba napájecího zdroje je závislá na geografických a klimatických podmínkách v dané lokalitě, ve které má být systém umístěn. Pokud se jako zdroj el. energie využívají dva a více zdrojů označují se tyto systémy jako hybridní. Při správném nadimenzování takového systému je dodávka energie kontinuální po celou dobu provozu.

Celá práce je rozdělena do dvou tematických celků. V první části je popsán výběr vhodných zdrojů el. energie pro konkrétní lokalitu. U každého zdroje je vysvětlen princip výroby el. energie, základní rozdělení, princip regulace, jejich výhody a nevýhody. Dále jsou zde popsány další součásti systému, které slouží k akumulaci el. energie, k ochraně akumulátorů nebo k přeměně stejnosměrného napětí na střídavé.

V druhé části je popsán vlastní návrh energetické jednotky pro dvě varianty objektů. První variantou je rodinný dům mých rodičů, který je momentálně připojen k distribuční síti. Druhou variantou je chatka využívající momentálně jako zdroj el. energie elektrocentrálu, kterou si přejí majitelé nahradit trvalým zdrojem energie. V návrhu pro rodinný dům, jsou popsány dva zdroje el. energie využívající obnovitelné zdroje energie a kontinuita dodávky. První variantou je FVE o velkém instalovaném výkonu, tato varianta byla nakonec zamítnuta s ohledem na klimatické podmínky v dané lokalitě byl nakonec zvolen kompromis v podobě dvou menších elektráren, kdy se bude využívat kombinace sluneční a větrné elektrárny doplněné o elektrocentrálu s automatickým startem. Pro akumulaci el. energie byly vybrány dva typy akumulátorů s rozdílnou životností a různou cenou. V návrhu pro chatu se vycházelo z předchozích informací a jako zdroj el. energie byla opět vybrána kombinace větrné a fotovoltaické elektrárny, které taktéž doplňuje elektrocentrála s automatickým startem. Pro akumulaci vyrobené el. energie byla vybrána dražší varianta akumulátorů, které mají mnohem větší životnost a celkovém měřítku vycházejí lépe. Součástí vlastního návrhu je i finanční vyhodnocení a vypočítaná návratnost vynaložených investičních nákladů pro obě varianty.

## 2. Jednotlivé prvky energetické jednotky

### 2.1. Větrné elektrárny

Větrná energie je zdroj obnovitelné energie, kterou je možno v určité míře využít po celých 24 hodin na celém území České republiky. Zásadní nevýhodou VTE je kolísání intenzity proudění větru.

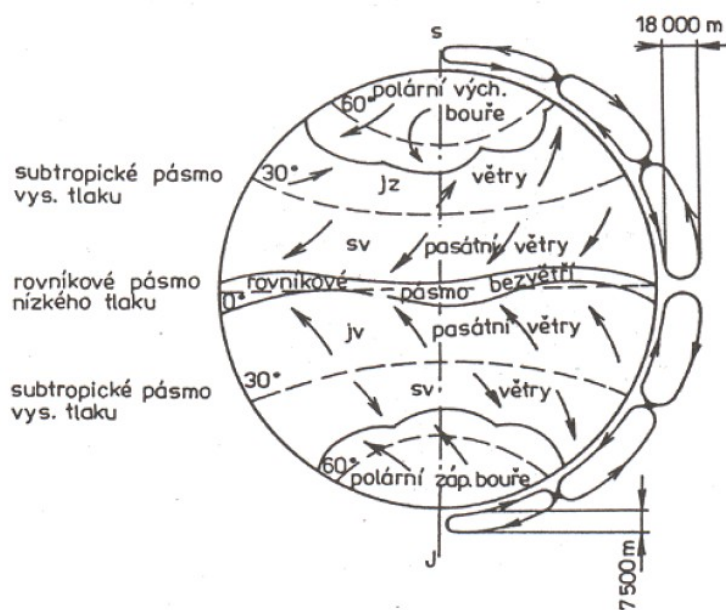
#### 2.1.1. Vítr

S ohledem na to, že Česká republika ležící uprostřed Evropy, je typickým vnitrozemským státem s kontinentálním klimatem. Hlavní nevýhodou je kolísání rychlosti větru v závislosti na ročním období.

Vítr je vzduch proudící v přírodě. Ustane-li proudění vzduchu, dochází k bezvětří. Naopak je-li proudění velmi silné, mluvíme o vichřici. Silný větrný poryv nazýváme húlava nebo větrný náraz.

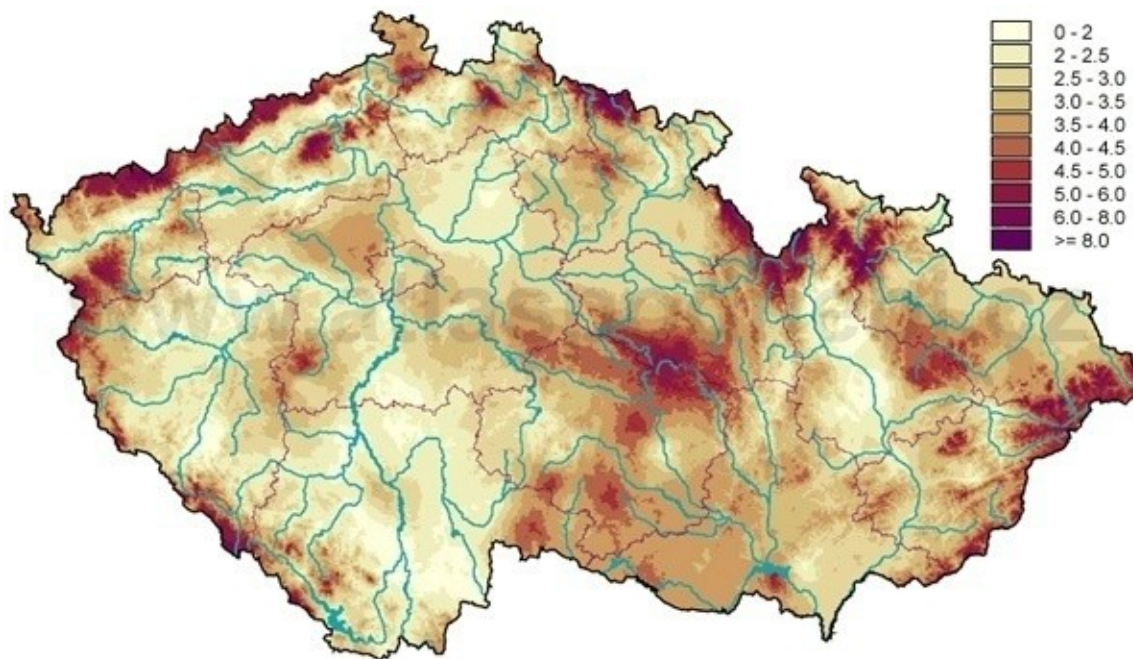
Směr a rychlost větru se neustále mění. Zdrojem energie větru je rotace země a sluneční energie. Nad zemským povrchem ohřátým sluncem vzrůstá teplota vzduchu, tím se vzduch roztahuje. Nad sousedním mořem je vzduch chladnější. Tím vzniká kolísání hustoty vzduchu, který má za následek rozdíly tlaku vzduchu. Nad povrchem země začíná vát vítr z moře na pevninu. V noci se směr větru otáčí, jelikož je voda teplejší než povrch země, který se ochlazuje rychleji. Vzduch neustále proudí z míst s vysokým tlakem na území s nízkým tlakem vzduchu.

Navíc k tepelným vlivům, které ovlivňují vítr, patří ještě dva faktory. Za prvé je to otáčení Země, které se jen částečně přenáší na vzduchový obal, jak názorně ukazují větry zvané pasáty. Za druhé je to struktura zemského povrchu. Kdy sílu proudění vzduchu ovlivňují stromy, stavby, kopce a hory. [1], [5]



Obr.2.1. Princip vzniku větru [1]

S rostoucí výškou od povrchu země roste rychlost větru logaritmicky. Rychlost větru ve výšce 10 m je tedy mnohem menší, než ve výšce 100 m. Průměrnou rychlost větru pro danou lokalitu lze získat z větrné mapy, která byla vytvořena Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR interpolací údajů meteorologických stanic a z numerického modelu proudění vzduchu nad naším územím. Tato rychlost se nejčastěji měří ve výšce 10 m nad povrchem země.



Obr.2.2. Mapa rychlosti větru v 10m [23]

Pro střední a velké VTE je zapotřebí měřit sílu větru v dané lokalitě alespoň půl roku registračním anemometrem. Toto měření se provádí nejčastěji ve výšce 10 m. Pro výpočet rychlosti větru ve výšce 100 m lze použít vztah:

$$\frac{V_h}{V_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n \quad (2.1)$$

$V_0$  – naměřená rychlost větru ve výšce  $h_0$  [m/s]

$V_h$  – vypočtená rychlost větru [m/s]

$h_0$  – výška, ve které se provádí měření[m]

$h$  – výška umístění rotoru [m]

$n$  – exponent závisující na drsnosti povrchu

Tab.2. 1. Exponent závislosti na drsnosti povrchu

$n$	druhy povrchu
0,16	hladký povrch, vodní hladina, písek
0,18	vysoká tráva, nízké obilné porosty
0,21	porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesní porosty
0,28	lesy s mnoha stromy
0,48	vesnice a malá města

[7]

### 2.1.2. Energie a výkon větru

Energii pohybující se hmoty vzduchu je možno vyjádřit následující rovnicí (2.2), kde  $v$  představuje rychlost vzduchu a  $m$  hmotu.

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.2)$$

Pro hodnotu  $m$  platí vztah

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s \quad (2.3)$$

kde

A.....plocha, kterou daný objem vzduchu protéká

s.....dráha, kterou urazí pohybující se vzduch

Z výše uvedených vztahů je možno velmi jednoduše odvodit rovnici pro výkon větru protékajícího jednotkovou plochou. Z výsledné rovnice (2.6) vyplývá, že výkon větru protékající jednotkovou plochou je přímo úměrný hustotě vzduchu a třetí mocnině rychlosti větru. Závislost výkonu větru  $P_v$  protékajícího jednotkovou plochou 1 m<sup>2</sup> na rychlosti větru je vidět na obrázku 2.3.

$$P_v = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2 \quad (2.4)$$

kde

$$\frac{s}{t} = v \quad (2.5)$$

Dosazením rovnice 2.5 do rovnice 2.4 získáme výslednou rovnici pro výkon větru.

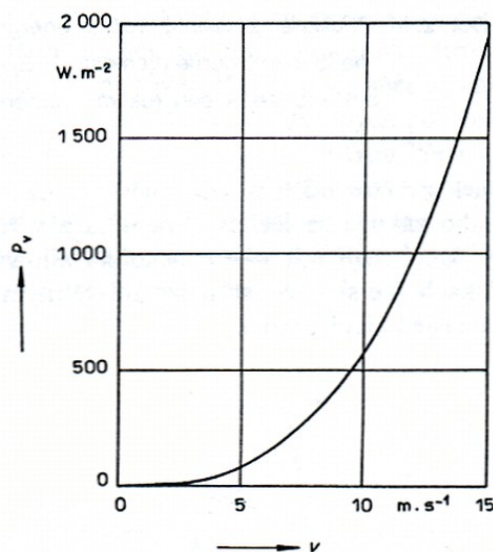
$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (2.6)$$

Rychlost větru i výkon větru jsou časově proměnné veličiny. S ohledem na tuto skutečnost můžeme pro energii větru protékajícího jednotkovou plochou za dané období napsat rovnici.

$$E_v = \int_{t_0}^t P_v \cdot dt \quad (2.7)$$

V případě, že v daném časovém intervalu je teplota a hustota vzduchu konstantní, můžeme rovnici upravit do následujícího tvaru:

$$E_v = \frac{\rho}{2} \cdot \int_{t_0}^t v^3 \cdot dt \quad (2.8)$$



Obr.2.3. Závislost výkonu větru protékajícího plochou  $1 \text{ m}^2$  na jeho rychlosti [1]

[1]

### 2.1.3. Volba stanoviště

Při stavbě VTE by měla být splněna jedna ze základních podmínek. A to správná volba stanoviště. Ideální by bylo místo, kde by stromy, keře ani domy nezpůsobovaly žádné větrné víry a poryvy.

Pro malé VTE do průměru rotoru 4 m se používá poměrně malá výška stožárů, která je kolem 10 m, což je s ohledem na energetický výnos do jisté míry značně nevýhodné. Tato výška však byla zvolena, protože úřady do výšky 10 m většinou nevyžadují stavební řízení k udělení povolení o stavbě.

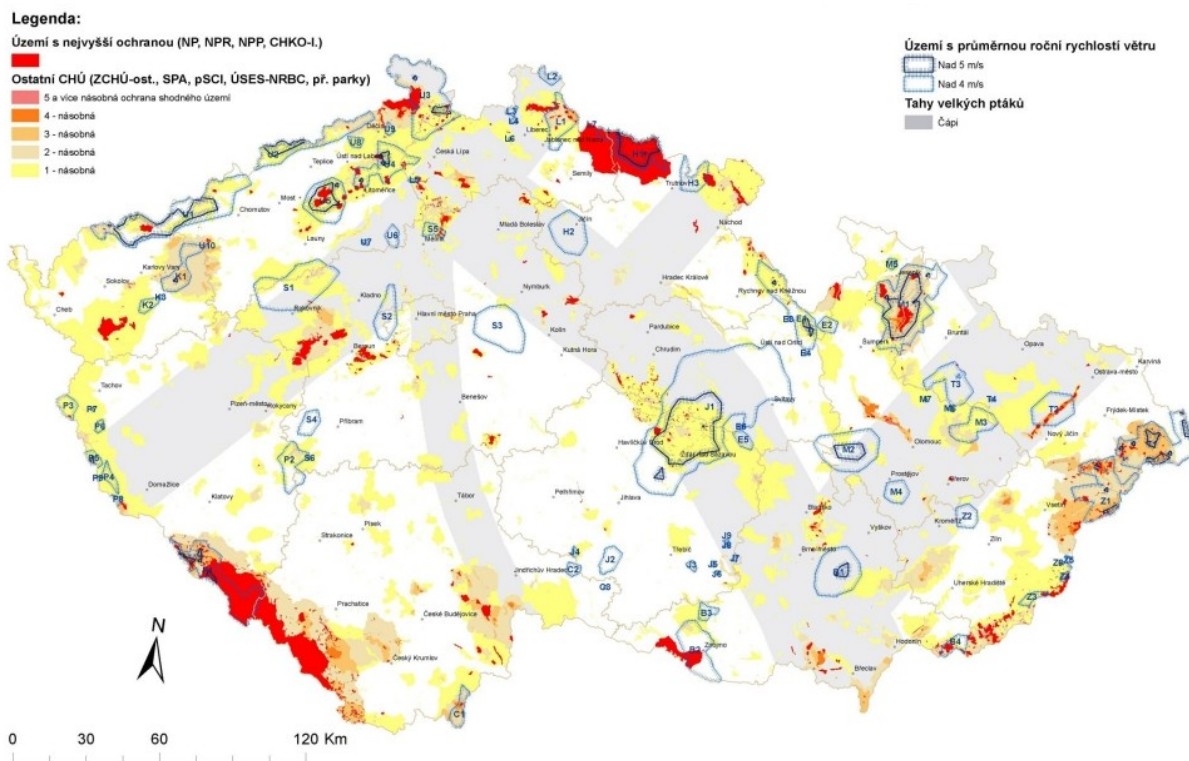
Podle nového stavebního zákona, je potřeba k stavbě pro výrobu energie s celkovým instalovaným výkonem do 20 kW s výjimkou stavby vodního díla podat ohlášení stavby.

Tento dokument musí obsahovat:

- doklady prokazující jeho vlastnické právo, smlouvu nebo doklad o právu provést stavbu nebo opatření k pozemkům nebo stavbám, na který má být požadovaný záměr uskutečněn; tyto doklady se připojují, nelze-li tato práva ověřit v katastru nemovitostí dálkovým přístupem; anebo souhlas podle § 89 odst. 3,
- souhlasná závazná stanoviska, popřípadě souhlasná rozhodnutí dotčených orgánů podle zvláštních právních předpisů, popřípadě rozhodnutí podle § 169 odst. 3 a 4,
- stanoviska vlastníků veřejné dopravní a technické infrastruktury k možnosti a způsobu napojení nebo k podmínkám dotčených ochranných a bezpečnostních pásem,
- souhlas osob, které mají vlastnická nebo jiná věcná práva k pozemkům nebo stavbám na nich a tyto pozemky mají společnou hranici s pozemkem, na kterém má být záměr uskutečněn,
- jednoduchý technický popis záměru s příslušnými výkresy.

S ohledem na energetický výnos z 18 m stožáru, který je asi o 50 % větší než z 10 m, měl by budoucí provozovatel zvážit, zda-li se mu při nepříjemné stavebně – právní důsledky vyplatí.

[5], [8]



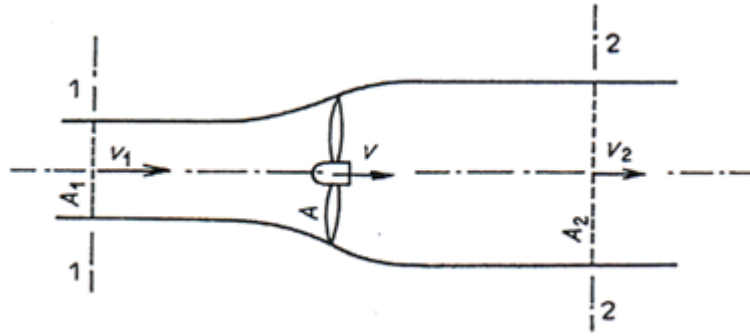
Obr.2.4. Území vhodná pro výstavbu VTE [24]

### 2.1.4. Princip funkce VTE

Princip funkce vztlakových motorů vychází z rovnice kontinuity. Jak již bylo uvedeno, větrné motory jsou využívány k přeměně kinetické energie větru na mechanickou práci – zpomalují proud vzduchu, který protéká jejich pracovní plochou, a tím odnímají větru část jeho energie. Obecné schéma přeměny kinetické energie na výkon je na obrázku 2.5. V prostoru omezeném proudovými plochami, jak je naznačeno na obr. 2.5, se nepřenáší hmota ani energie, a proto můžeme tento stav popsat rovnicí kontinuity:

$$v_1 \cdot A_1 = v \cdot A = v_2 \cdot A_2 \quad (2.9)$$





Obr.2.5. Princip funkce vztlačového rotoru [1]

Ze zákona zachování hybnosti můžeme dále odvodit axiální sílu ( $F_a$ ) působící na listy větrného motoru. Pro axiální sílu platí rovnice:

$$F_a = \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2) \quad (2.10)$$

Výkon větru je následně definován rovnicí 2.11 a výkon určený ze změny kinetické energie ( $\Delta E_k$ ) proudu protékajícího vzduchu za jednu sekundu kontrolní plochou je definován rovnicí 2.12.

$$P = F_a \cdot v = \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot (v_1 - v_2) \quad (2.11)$$

$$P = \frac{\Delta E_k}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.12)$$

Srovnáním rovnic 2.11 a 2.12 můžeme definovat vztah pro rychlost  $v$  ve tvaru:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (2.13).$$

Po úpravách pak můžeme pro axiální sílu  $F_a$  působící na listy větrného motoru a pro výkon větru  $P$  napsat rovnice v následujících tvarech:

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.14)$$

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) \quad (2.15)$$

Ideální účinnost přeměny kinetické energie na mechanickou můžeme definovat jako poměr výkonu motoru k výkonu větru. Při uvažování ideálního větrného motoru s nekonečným počtem lopatek pracujících bez aerodynamického odporu můžeme pro účinnost napsat vztah.

$$\eta_i = \frac{(v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2)}{2 \cdot v_1^3} \quad (2.16)$$

Výše uvedené rovnice popisují ideální stav – definují pouze výkon vzduchové hmoty. Pokud bychom chtěli definovat výkon větrného motoru protékajícího touto hmotou, je potřeba rovnici výkonu větru vynásobit součinitelem výkonnosti  $cp$ . Součinitel výkonnosti udává, kolik energie z proudícího vzduchu se využívá na turbíně. Jeho maximální hodnota může teoreticky podle Netzova pravidla dosahovat  $cp = 0,59$ . Hodnota součinitele výkonnosti není konstantní a je funkcí rychlosti větru. Obecně lze říci, že hodnota součinitele výkonnosti je při nízkých rychlostech větru nízká, při středních rychlostech dosahuje maximálních hodnot a při vyšších rychlostech opět klesá. [1]

### 2.1.5. Elektrická zařízení větrných elektráren

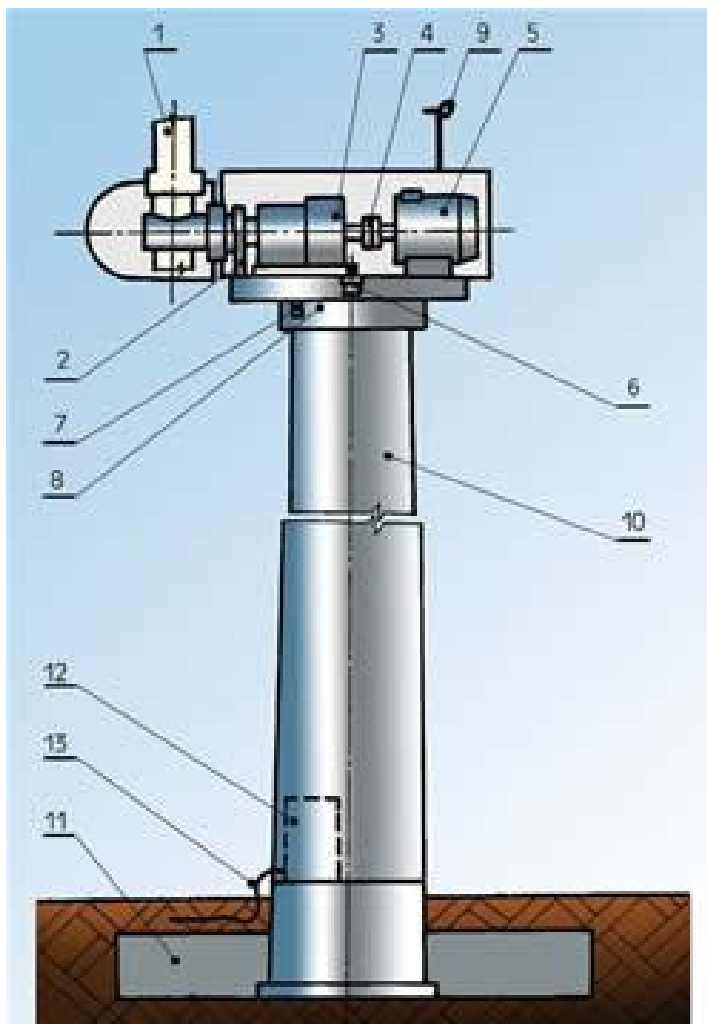
Pro výrobu elektrické energie se ve větrných elektrárnách používají asynchronní a synchronní generátory.

Asynchronní generátor je v porovnání se synchronním jednodušší a finančně méně náročný a z hlediska provozu je spolehlivější. Nevýhodou asynchronního generátoru je malé rozpětí otáček. Naopak výhodou asynchronního generátoru je jeho jednoduchý rozběh, připojení na síť a regulace výkonu.

Synchronní generátor může být provozován pouze při synchronních otáčkách větrné turbíny. Aby bylo možné synchronní generátor provozovat v širším rozmezí otáček, je potřeba vyrobenou elektrickou energii usměrnit a následně opět s využitím střídače převést na frekvenci sítě.

Typická konstrukce větrné elektrárny je zobrazena na obrázku 2.6. VTE a skládá se z následujících základních částí:

1. Rotor s rotorovou hlavicí a listy
2. Brzda rotoru
3. Planetová převodovka
4. Spojka
5. Generátor
6. Servopohon (natočení strojovny)
7. Brzda točny strojovny
8. Ložiska točny strojovny
9. Čidla rychlosti a směru větru
10. Několika dílná věž elektrárny
11. Betonový základ elektrárny
12. Elektrorozvaděče silnoprůdého a řídicího obvodu
13. El. přípojka



Obr.26. Princip funkce velké VTE [25]

### 2.1.6. Základní rozdělení VTE

VTE se dělí podle výkonu a podle aerodynamického principu.

#### 2.1.6.1. Podle výkonu:

##### VTE pro ostrovní provoz:

Pro ostrovní provoz se používají mikro a malé VTE. Jsou to alternativy FVE v místech, kde je dostatek větru, ale nedostatek slunečního záření. Slouží pro napájení jednotlivých zařízení a nedodávají energii do sítě.

Mikroelektrárny malých výkonů (v řádech stovek Wattů) se používají k napájení veřejného osvětlení, aktivních inteligentních dopravních značek, osvětlení panelů kolem dálnic apod.

VTE s výkonem v řádech jednotek kW jsou ideální jak pro ostrovní „grid-off“ systémy nebo se vyrobená el. energie může dodávat přímo do rozvodné sítě. Tyto elektrárny jsou nejčastěji tvořeny synchronními generátory s permanentními magnety. Vyrábějí stejnosměrné napětí o velikosti 12 V, 24 V, 48V popřípadě střídavé 230V, 50 Hz. Jejich výkon je už dostačující pro napájení rodinných domů, chat apod. Vyrobená el. energie se nejčastěji akumuluje v olověných akumulátorech a kdykoliv později může být použita pro napájení nízkonapěťových spotřebičů, lze ji použít i k napájení elektrických spotřebičů s napětím 230 V, ale je potřeba použít střídač. Energie z elektráren s výkonem větším jak 3 kW se může ukládat ve formě tepla ohříváním akumulacních kamen nebo pro ohřev vody v akumulacní nádrži. [10]

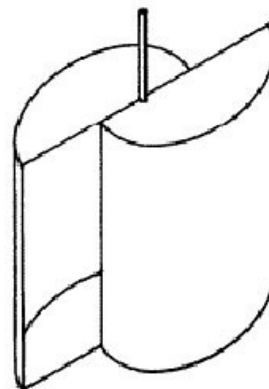
#### 2.1.6.2. Podle aerodynamického principu:

Větrné motory se podle aerodynamického principu dělí na odporové a vztlkové.

- **Odporové**

Větrné motory pracující na odporovém principu patří mezi nejstarší. Mohou mít vodorovnou i svislou osu otáčení. Princip jejich funkce vychází z aerodynamického odporu, kdy na nastavenou plochu působí síla větru. Tato plocha zpomaluje proud vzduchu a je mechanicky přeměňována na rotační pohyb.

- **Savoniův rotor** – účinnost tohoto typu rotoru se pohybuje v rozmezí 23% až 30%. Rotor využívá rozdílného koeficientu odporu proudícího média, působícího na vydutou a vypuklou plochu. Rotor běžné Savoniovy turbíny je tvořen dvojicí či trojicí lopatek polokruhovitě nebo ledvinovitého tvaru. Vnitřní okraje lopatek zasahují až za střed rotoru a umožňují průtok média mezi jejich zadními stranami. Osa otáčení je kolmá na směr proudění.



Obr. 2.6 Savoniův rotor [10]

- **Darrieův rotor** – Rotor může mít dvou, tří i čtyřlísté provedení. Listy s aerodynamickým profilem jsou většinou tvarovány tak, aby jejich namáhání odstředivými silami bylo co nejmenší. Rotor připomíná řecké písmeno f, byly provedeny i rotory ve tvaru trojúhelníku nebo ve tvaru písmene H. Uspořádání rotoru s prizmatickými listy umožňuje regulovat výkon při velkých rychlostech větru změnou sklonu listů a tím změnou velikosti pracovní plochy. Účinnost tohoto typu rotoru dosahuje 38%.

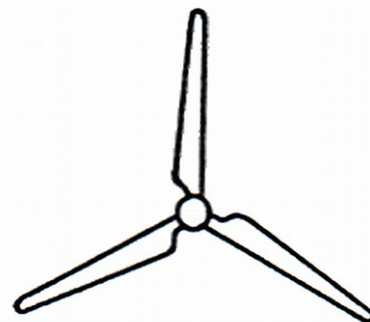


Obr.2.7. Darrieův rotor [10]

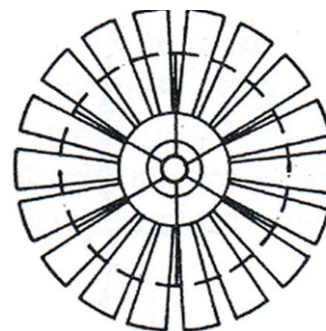
- **Vztlakové**

Na vztlakovém principu pracují vrtule a větrná kola s vodorovnou osou, které jsou orientovány svojí rovinou otáčení kolmo ke směru větru.

- **Vrtule** – většinou se vyskytují ve dvou nebo třilístém provedení, byly však též vyrobeny jednolísté vrtule s protizávažím. U některých rotorů jsou vrtulové listy kolem své podélné osy natáčivé a umožňují tak snadnější rozběh rotoru, lepší regulaci otáček a výkonu, aerodynamické brzdění a snížení odporu vrtule při zastaveném rotoru. Jejich účinnost se pohybuje okolo 45%.
- **Větrná kola** - mají jednoduché obvykle plechové lopatky, jejichž počet se pohybuje od čtyř do několika desítek podle velikosti kola požadované rychloběžnosti. Platí, že frekvence otáčení při stejném průměru rotoru nepřímo závisí na počtu lopatek, při větším počtu lopatek se větrný motor zase snadněji rozbíhá a má při rozběhu větší moment síly. Jejich účinnost se pohybuje v rozmezí 20 % až 40%.



Obr.2.8. Vrtule [10]



Obr.2.9. Větrné kolo [10]

[10]

### 2.1.7. Regulace výkonu VTE

U malých větrných elektráren je maximální účinnosti transformace větrné energie dosahováno orientací rotoru do směru větru. Při nedodržení této podmínky dochází ke ztrátám výkonu. Jako natáčecí zařízení se u těchto elektráren používá směrové kormidlo.

Pro regulaci otáček se u malých větrných elektráren používá regulační kormidlo, které při určité rychlosti větru rotor natáčí. V případě mezních rychlostí větru dochází k úplnému odstavení a osa rotoru je kolmá ke směru větru. Tento způsob regulace je běžný u starších typů větrných elektráren, v dnešní době se i tyto malé jednotky konstruuji jako rychloběžné, obvykle s výkonem do 1,5 kW. Jsou brzděny pomaluběžnými generátory s usměrňovačem a obvykle nejsou osazeny převodovkou.

[1], [10]

### 2.1.8. Výhody a nevýhody VTE

#### Výhody:

- zdroj el. energie ve špatně dostupných místech – hory
- relativně velký výkon na poměrně malé rozměry elektrárny
- doba větru
- málo zatěžují životní prostředí

#### Nevýhody:

- složitá instalace elektrárny
- málo míst s optimálními větrnými podmínkami
- velké elektrárny svým vzhledem narušují krajinu
- vysoké investiční náklady

## 2.2. Fotovoltaické elektrárny

Možnost získání elektrické energie přímou přeměnou slunečního záření je známá již od 19. století. Kdy W. G. Adams a R. E. Day v roce 1877 vytvořili první FVČ bez elektrolytu za pomoci selenu. Rozvoj fotovoltaických aplikací byl a nadále je závislý především na technické úrovni a znalosti v oblasti fyziky polovodičů.

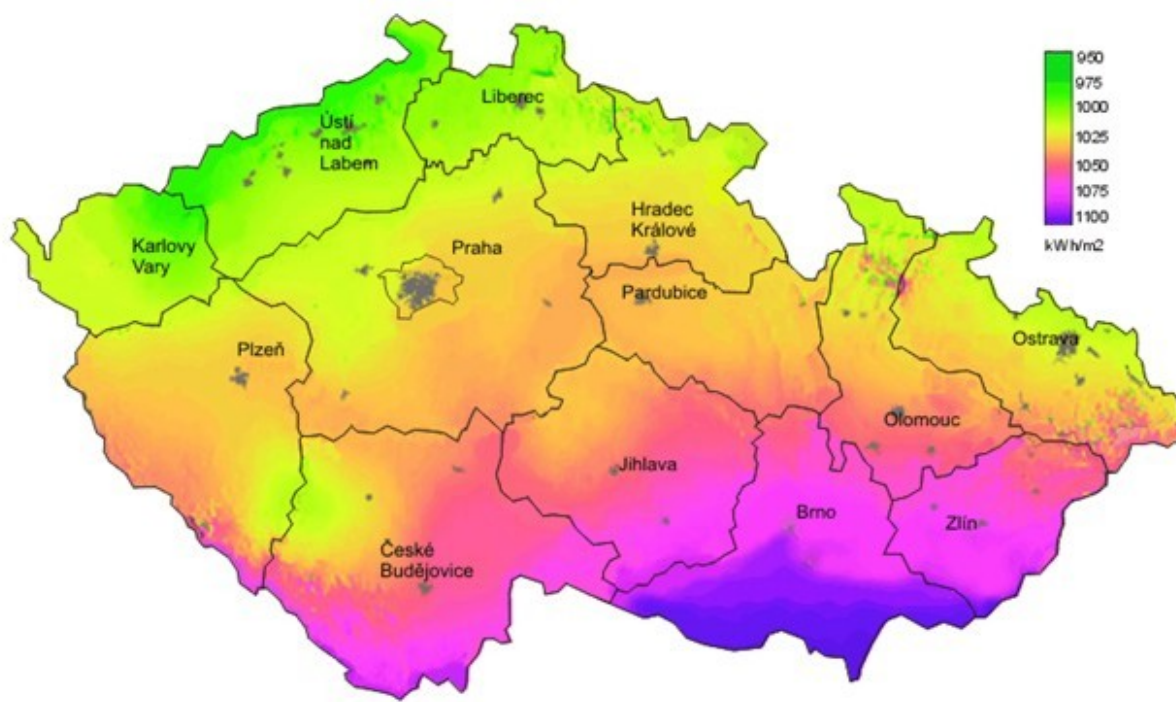
### 2.2.1. Situace v ČR

Na území České republiky dopadá ročně 80 000 T·W·h na 1 m<sup>2</sup> sluneční energie. Na zemskou atmosféru dopadá přibližně 1,4 kW zářivého výkonu na 1 m<sup>2</sup>. V důsledku proměnlivého filtračního působení atmosféry vyvolaného mraky, vodními, prachovými a jinými částicemi a také v důsledku proměnlivých drah paprsků závislých na postavení Slunce, je povrch Země ozařován s různou intenzitou. V závislosti na denní době a počasí, kolísá ozáření v našich zeměpisných šířkách mezi 0 W·m<sup>-2</sup> (v noci) až 1000 W·m<sup>-2</sup> (při hezkém počasí v poledne). Maximální hodnota ozáření dosahuje přibližně 1000 W·m<sup>-2</sup> a je téměř nezávislá na umístění. V rovníkové oblasti je jen mírně vyšší.

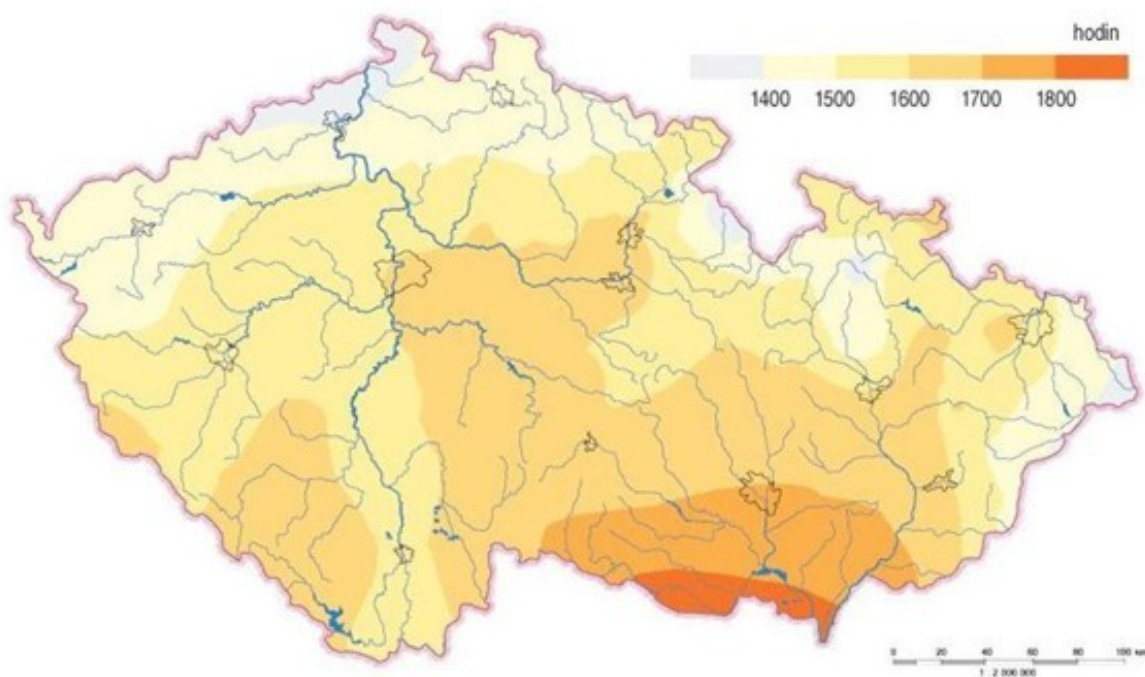
Rozlišuje se přímé a nepřímé ozáření. Při bezmračné obloze převládá podíl přímého ozáření, kdežto záření, které je před dopadem na zemský povrch ovlivňováno např. mraky, je označováno jako nepřímé. V ročním průměru dopadá na naše území asi jedna třetina záření ve formě přímého ozáření, zbývající dvě třetiny dosahují Země při oblačné nebo zatažené obloze jako nepřímé, neusměrněné záření.

Za kolísání sluneční energie v závislosti na ročním období je zodpovědný hlavně sklon zemské osy rotace o velikosti 23,5 °. Při oběhu Země kolem Slunce je silněji ozářena Sluncem jednou severní a jednou jižní polokoule. Čím dál je stanoviště vzdálené od rovníku, tím větší jsou rozdíly mezi zimním a letním půlrokem. Regionální rozdíly ozáření různých míst ČR jsou na obrázku 2.10. Na obrázku 2.11. je počet slunečních dnů na území ČR.

Vedle rozdílů ozáření podmíněných ročním obdobím, má pro využívání sluneční energie význam také úhel ozáření. Když sluneční paprsky nedopadají přímo kolmo, je zapotřebí k získání téhož množství sluneční energie větší plocha. [3], [4]



Obr.2.10. Množství dopadající sluneční energie na  $m^2$  [26]



Obr.2.11. Množství slunečních dnů v ČR [26]

### 2.2.2. Princip funkce FVČ

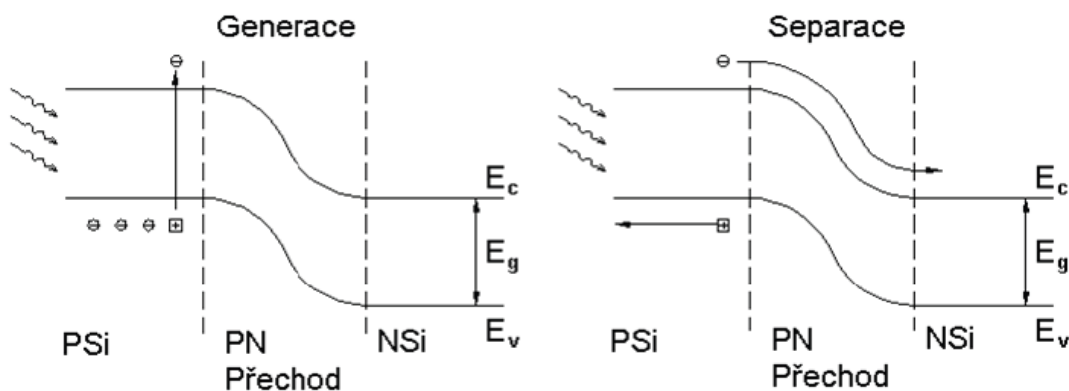
Základním principem FVČ je fotoelektrický jev, při němž jsou elektrony uvolňovány z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření látkou. Absorpce je způsobena interakcí světla (fotony) s částicemi hmoty (elektrony a jádry), kde mohou nastat tyto případy:

- interakce částice s mřížkou  
využití nízkenergetických fotonů
- interakce s volnými elektrony  
dochází pouze ke zvýšení teploty (fototermální systémy)
- interakce s vázanými elektrony  
vznikají volné nosiče náboje  
může dojít k uvolnění elektronu z vazby

Pro funkci FV článku je zásadní, aby foton ze slunečního záření uvolnil v látce elektron a vznikl pár elektron – díra. V kovech ovšem dojde k jejich okamžité rekombinaci, které je potřeba zabránit a vzniklý náboj tedy odvézt z článku. Pro tento účel se využívá polovodičů, ve kterých jsou elektrony a díry separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu.

Nejjednodušší FVČ můžeme tedy popsat jako velkoplošnou diodu s jedním PN přechodem. Aby mohla FV přeměna probíhat, musí být splněny následující podmínky:

- foton musí být pohlcen,
- foton musí excitovat elektron do vyššího vodivostního pásu,
- vzniklá dvojice elektron (-) – díra (+) musí být separována, aby se znovu nespojila,
- oddělené náboje jsou následně odvedeny ke spotřebiči.

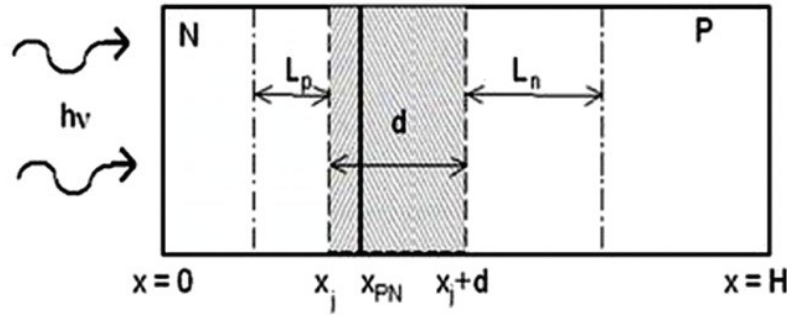


Obr.2.12. Princip přímé přeměny energie slunečního záření na elektrickou s využitím fotoelektrického jevu. [1]

V ozářené oblasti PN přechodu jsou generovány nosiče, které následně difundují směrem k PN přechodu. Hustota proudu ( $J_{PV}$ ) je tvořena nosiči, které byly zachyceny oblastí prostorového náboje (rovnice 2.17). Hustota proudu pro jednotlivé oblasti PN přechodu je definována v rovnicích 2.18 – 2.20. Nosiče, generované mimo místa přechodu PN musí k oblasti se silným elektrickým polem



difundovat. Pokud zrekombinují dříve, než dosáhnou oblasti přechodu PN, neuplatní se při generaci FV napětí.



Obr.2.13. Princip fotoelektrického jevu [1]

$$J_{PV}(\lambda) = J_{PVN}(\lambda) + J_{PVP}(\lambda) + J_{OPN}(\lambda) \quad (2.17)$$

Pro oblast typu N platí rovnice:

$$J_{PVN}(\lambda) = q \int_0^{x_j} G(\lambda) dx - q \int_0^{x_j} \frac{\Delta p}{\tau_p} dx - J_{sr}(0) \quad (2.18)$$

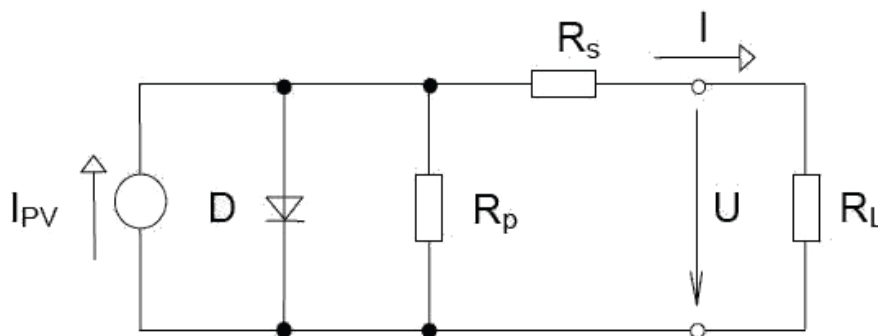
Pro oblast typu P platí rovnice:

$$J_{PVP}(\lambda) = q \int_{x_j+d}^H G(\lambda) dx - q \int_{x_j+d}^H \frac{\Delta n}{\tau_n} dx - J_{sr}(H) \quad (2.19)$$

A pro oblast prostorového náboje platí:

$$J_{OPN}(\lambda) \approx q \int_{x_j}^{x_j+d_j} G(\lambda) dx \quad (2.20)$$

FV článek je možno modelovat pomocí náhradního obvodu, znázorněného na obrázku 2.14. Ozářená oblast (plocha  $A_{ill}$ ) přechodu PN generuje proud o hustotě  $J_{PV}$ , přičemž se oblast typu P nabíjí kladně a oblast typu N záporně. Tím je přechod propustně polarizován a část generovaného proudu teče zpět diodou D. Technologické nedokonalosti (mikrosvody) přechodu PN jsou modelovány svodovým odporem  $R_p$ , vliv odporu materiálu a proudových sběrnic je modelován sériovým odporem  $R_s$ . Výstupní napětí  $U$  na FV článku je o úbytek napětí na sériovém odporu nižší, než napětí  $U_j$  na diodě.



Obr.2.14. Náhradní schéma fotovoltaiického článku[1]

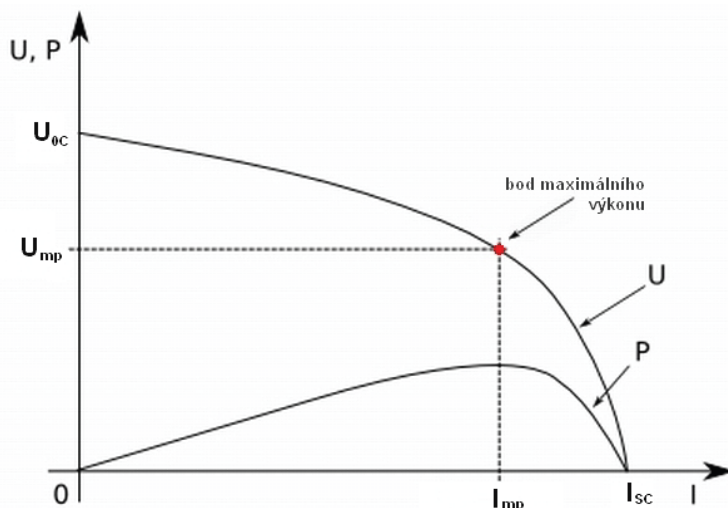
Na základě výše popsaného náhradního schématu lze výstupní proud FVČ ( $I$ ) vyjádřit následující rovnicí:

$$I = \underbrace{A_{ill} \cdot J_{PV}}_I - \underbrace{I_{01} \left[ \exp \left( e \cdot \frac{U + R_s I}{kT} \right) - 1 \right]}_{II} - \underbrace{\frac{U + R_s I}{R_p}}_{III} \quad (2.21)$$

Jednotlivé části rovnice označené jako I, II a III představují generovaný proud (I), proud diodou (II) a svodový proud (III). Z uvedené rovnice (2.21) je patrný značný vliv sériového odporu  $R_s$  na voltampérovou charakteristiku fotovoltaiického článku (obr. 2.15). Sériový odpor snižuje výstupní proud a tím i celkovou účinnost článku.

### Voltampérová charakteristika FVČ

Voltampérová charakteristika (obr. 2.15) je základní informací o činnosti FVČ. Hraniční veličiny na voltampérové charakteristice jsou napětí naprázdno ( $U_{oc}$ ) a proud nakrátko ( $I_{sc}$ ). Napětí naprázdno představuje maximální napětí na článku, kterého je možno dosáhnout v případě, že ke článku není připojen žádný spotřebič. Proud nakrátko představuje maximální proud (zkratový proud), který může solární článek při dané intenzitě slunečního záření dodávat.



Obr.2.15. Zatěžovací a výkonová charakteristika FVČ [1]

Výkon solárního článku se určuje jako součin proudu a napětí. Pro každý článek existuje pracovní bod na charakteristice, ve kterém je výkon největší. Tento bod je označován jako **bod maximálního výkonu** (MPP) o napětí  $U_{mp}$  a proudu  $I_{mp}$ . Výkon určitého fotovoltaického článku ( $P$ ) závisí na ozáření, spektru světla a na teplotě článku. Pro výkon fotovoltaického článku můžeme tedy napsat rovnici

$$P = U_{mp} \cdot I_{mp} \quad (2.21)$$

Dalšími charakteristickými provozními hodnotami fotovoltaického článku jsou činitel plnění ( $FF$  – *Fill Factor*) a účinnost ( $\eta$ ).

Činitel plnění je charakterizován jako podíl maximálního výkonu v bodu MPP a maximálního výkonu definovaného pomocí maximálního napětí a maximálního proudu. Můžeme tedy napsat rovnici

$$FF = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{U_{0C} \cdot I_{SC}} \quad (2.22)$$

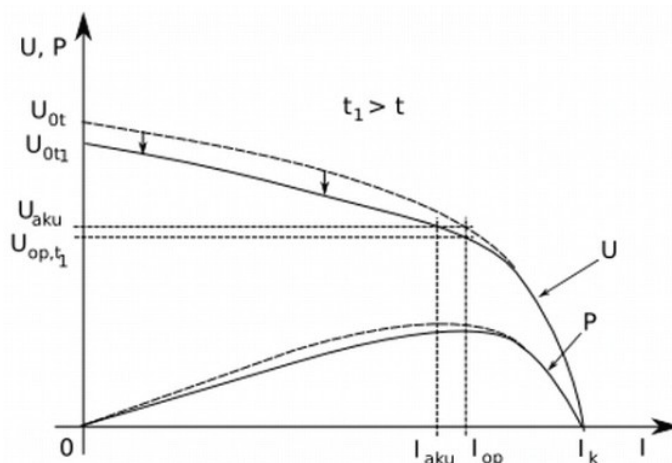
Pro účinnost FV článku můžeme napsat rovnici (2.23). Z rovnice je patrné, že účinnost je definována jako podíl maximálního výkonu článku v bodu MPP a výkonu dopadajícího slunečního záření ( $P_{in}$ ).

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} \quad (2.23)$$

Tyto výše uvedené charakteristické ukazatele jsou vždy určovány za standardních testovacích podmínek, tj. při standardní testovací teplotě  $STC = 25^\circ C$ , intenzitě slunečního záření  $I = 1000 \text{ Wm}^{-2}$  a definované vzduchové hmotě (Air Mass)  $AM = 1,5$ . Na průběh voltampérové charakteristiky má vliv především hodnota intenzity slunečního záření a teplota.

Vlivem zvýšené teploty se zvýší difúzní hodnota minoritních nosičů náboje a zmenší se energetická mezera polovodiče, což vede ke zvýšení fotoproudu. Tento nárůst je však zanedbatelný. Významnější

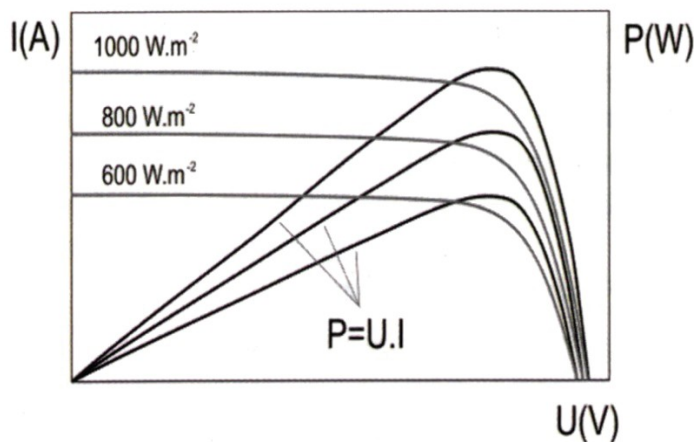
je v tomto případě pokles napětí naprázdno  $U_{oc}$ . Při déle trvající sluneční intenzitě nebo zhoršených podmínkách chlazení článku (bezvětrí), kdy teplota vzduchu dosahuje  $40^{\circ}\text{C}$ , dochází ke zvýšení povrchové teploty až na  $80^{\circ}\text{C}$ . Při takto vysokých teplotách dochází ke změně elektrických vlastností článku, které vedou ke snížení zatěžovací charakteristiky směrem k nižšímu napětí (Obr. 2.16). Pokles optimálního napětí způsobí snížení dodávaného výkonu.



Obr.2.16. Vliv teploty na výkon FVČ [1]

Pro FV články z krystalického křemíku (c-Si) je pokles  $U_{oc}$  okolo  $0.4\%/K$  a pokles účinnosti článků je přibližně  $0,5\%/K$ .

Účinnost FVČ dále závisí na intenzitě dopadajícího záření a na velikosti sériového a paralelního odporu. V případě malého sériového odporu  $R_s$  účinnost článků s rostoucí intenzitou záření roste, dosahuje maxima a až při velkých intenzitách záření začíná klesat. V případě velkého sériového odporu účinnost článků s rostoucí intenzitou záření klesá (tento efekt se projevuje zejména u tenkovrstvých FV článků). Možné průběhy závislosti účinnosti FVČ na intenzitě slunečního záření jsou vidět na obrázku 2.17. [1]



Obr.2.17. Vliv intenzity slunečního záření na výkon FVČ [1]

### 2.2.3. Základní typy FVČ z hlediska dlouhodobého vývoje

FVČ se používají více jak 50 let. Za tu dobu byla vyvinuta celá řada typů a konstrukcí s využitím různých materiálů. Rozlišují se základní čtyři generace pro lepší přehlednost:

#### 2.2.3.1. První generace

Tyto FVČ jsou vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, v nichž je vytvořen velkoplošný p-n přechod. Tento typ článku se vyznačuje dobrou účinností a dlouhodobou stabilitou výkonu. Jejich účinnost dosahuje až 25 %. Momentálně jsou stále nejpoužívanějším typem FVČ a tvoří asi 90% trhu. Hlavní nevýhodou je relativní velká spotřeba velmi čistého, tedy poměrně drahého křemíku a poměrně velká náročnost výroby.

- **Polykrystalické články**

- Základem je křemíková deska. Články se skládají z většího počtu menších polykrystalů. Účinnost se pohybuje v rozmezí 10 až 15%. Jejich výroba je levnější a rychlejší, než u monokrystalických. Jsou v našich podmínkách nejpoužívanější.
- Je třeba o trochu větší plochy, než u monokrystalických článků, ale rozdíl ve výkonu v průběhu roku je zanedbatelný
- Nejsou tak citlivé na odklon od jihu jako monokrystalické
- Barva tmavomodrá s nepravidelnými obrázky



Obr.2.18. Polykrystalický článek [27]

- **Monokrystalické články**

- Základem je podobně jako u polykrystalických článků- křemíková deska. Krystaly jsou větší než 10 cm a vyrábí se tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru až 300 mm. Ty se poté rozřežou na tenké plátky (podložky). Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 13 až 17%.
- Jsou ideální pro natáčení systémy, protože vykazují největší výkon při přímé orientaci ke slunci
- Náklady na 1 Wp jsou nejvyšší
- Barva je černá s pravidelnými obrázky



Obr.2.19. Monokrystalický článek [27]

- **Amorfní články:**

- Základem je napařovaná křemíková vrstva. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 4 až 8%. Tyto typy článků jsou levnější a jsou využívány v místech, kde není omezení prostorem.
- Jsou výhodné pro použití na plechových střechách - mají téměř nulový teplotní koeficient
- Mají nejmenší závislost na vnějším zastínění a na ročním období
- Nemají přehradní efekt i po delší době provozu
- Jsou černé nebo červeno-hnědé



Obr.2.20. Amorfní článek [27]

### 2.2.3.2. Druhá generace

Hlavní důvod pro výrobu druhé generace, byla snaha snížit množství čistého křemíku. Proto byly destičky monokrystalického křemíku nahrazeny tenkovrstvými články. Nejčastěji byly tyto články nahrazeny polykrystalickými, mikrokystalickými články nebo články z amorfního křemíku s podstatně tenčí absorpční vrstvou a to až 1000 krát oproti předchozí generaci. Snížením množství křemíku došlo k úspoře materiálu, což vedlo k poklesu ceny. Hlavní nevýhodou těchto FVČ je malá účinnost, která se pohybuje při sériové výrobě pod 10%. Oproti tomu je jejich hlavní výhodou dobrá pružnost a ohebnost. V dnešní době se dají pořídit i FV fólie, které se nalepí na plochou střechu. Tyto fólie plní funkci jak izolační, tak současně vyrábí elektrickou energii. Dále se dají použít jako součást oblečení a umožňují napájet přenosná zařízení. Komerčně se tyto FVČ začaly prodávat v polovině osmdesátých let.

### 2.2.3.3. Třetí generace

Do třetí generace se řadí systémy, na kterých stále probíhají výzkumné práce. Vědci se snaží o maximální využití energie dopadajících fotonů slunečního záření, nejčastěji ve formě několika násobného přechodu tenkých vrstev. Jelikož používají k separaci nábojů jiné metody než p-n přechod, začaly se používat i jiné materiály než polovodiče. Jsou to např. fotogalvanické nebo polymerní články. Začínají se uplatňovat uhlíkové nanostruktury ve formě uhlíkových trubiček, či tyčinek. Hlavní výhodou těchto struktur, je možnost cíleně ovlivnit (vyladit) optické a elektrické vlastnosti pro nejeфекtivnější využití. Nevýhodou je zatím nízká účinnost, často malá stabilita vlastností a účinnost.

### 2.2.3.4. Čtvrtá generace

Čtvrtá generace tvoří poslední vývojový stupeň. Kde kompozitní, z jednotlivých vrstev složené FVČ jsou schopnější efektivně využívat širokou část slunečního spektra. Vrstvení profilů je založeno na principu naladění vrstev na různé vlnové délky. Tím pádem každá vrstva dokáže využít světlo v určitém rozsahu vlnových délek. Záření, které využít nemůže, propustí do hlubších vrstev, kde je využito. Důvodem je snaha o zvýšení „proudového“ a „napěťového“ zisku.

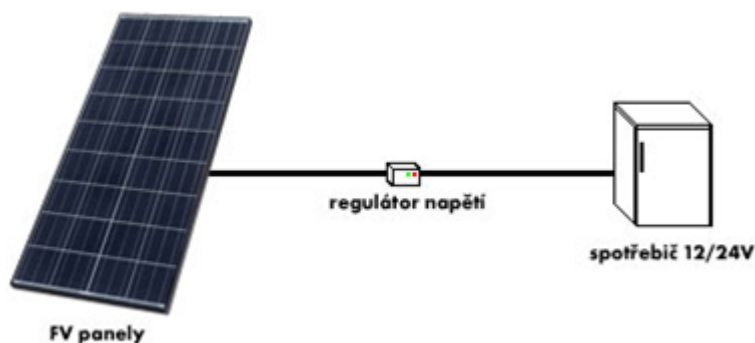
[3], [4], [17]

#### 2.2.4. Dělení ostrovních systémů podle instalovaného výkonu

Aplikace pro ostrovní FVS jsou dimenzovány od výkonu řádově jednotek wattů až po jednotky kilowattů. Každý systém používá rozdílnou kombinaci prvků a zařízení, aby dosáhl co nejefektivnějšího provozu. Hlavním kritériem při takovém návrhu je dosažitelnost nejlepšího poměru cena/komfort. Všechny tři kategorie obsahují FVE, regulátory, spotřebič a ve většině případů i akumulátor. Z důvodu lepšího komfortu obsahují domovní aplikace další záložní zdroje energie.

##### 2.2.4.1. Kapesní aplikace

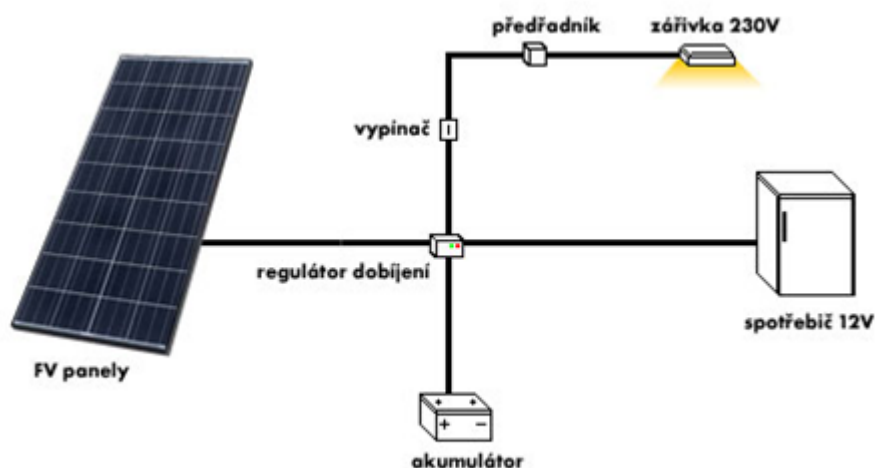
Tyto systémy jsou charakteristické tím, že fungují pouze v době s dostatečnou sluneční intenzitou. Výstupní stejnosměrné napětí je většinou 12 V nebo 24 V. Typickým představitelem kapesních systémů jsou kalkulačky, kde jsou umístěny FVČ společně s akumulátorem. Dalším představitelem jsou FVS pro nabíjení mobilních telefonů, notebooků a další elektroniky.



Obr.2.21. Systém s přímým napájením [11]

##### 2.2.4.2. Malé systémy

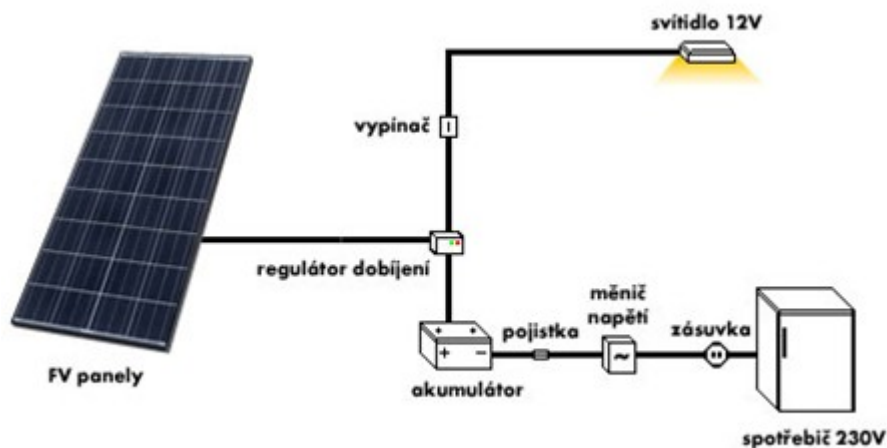
Systémy spadající do kategorie malých systémů se zasloužily o rozvoj FVS, tak jak je známe do dnešní doby. Tyto systémy byly nejdříve použity při letech do vesmíru, kde zajišťovaly napájení řídicích a záložních systémů. V současné době jsou používány tyto aplikace s výkony v řádech stovek wattů jako ostrovní systémy pro parkovací automaty, veřejné osvětlení a soběstačné systémy na jachtách nebo v karavanech. Po přidání akumulátoru dojde k výraznému zvýšení komfortu, ale i k úměrnému zvýšení ceny. Pro tento systém je také typické používání spotřebičů na 12 V, respektive 24 V, ale využívá se už střídačů pro střídavá napětí.



Obr. 2.22. Systém s akumulací energie [11]

### 2.2.4.3. Domovní aplikace

Poslední skupinou jsou domovní aplikace. U domovních aplikací je kladen velký důraz na komfort uživatele. Z tohoto důvodu je zapotřebí střídavé napětí, proto je u většiny aplikací použit měnič napětí a MPPT regulátor. FVS by měl být navrhnout tak, aby pracoval v období od března do října bez zásahu uživatele. Při celoročním provozu dochází v zimních měsících k nedostatku vyrobené energie z FVE, proto se pro nabití akumulátorů používají další zdroje energie. Využívají se VTE, elektrocentrály, vodní elektrárny atd.



Obr. 2.23. Ostrovní systém (12 V i 230 V) [11]

[11]



### 2.2.5. Výhody a nevýhody

**Výhody:**

- levný zdroj el. energie
- rychlá návratnost investic
- snadná instalace
- snadná údržba a nízké provozní náklady

**Nevýhody:**

- výroba pouze činné energie
- špatný vliv na soustavu v době pik výkonu
- malá účinnost dosahující 27% u špičkových panelů
- velká závislost na místních podmínkách a ročním období
- omezená dodávka elektrické energie (v noci nedodává elektrickou energii)
- nutnost předimenzování pro požadovaný výkon
- pokles výkonu během stárnutí panelu
- komplikovaná likvidace panelu

## 2.3. Elektrocentrály

V minulých dvou kapitolách byly popsány zdroje pro hybridní systém, které využívají pouze obnovitelné zdroje elektrické energie, jejichž provoz je závislý na klimatických podmínkách v dané lokalitě. Pokud je tento systém navrhnut na celoroční provoz, je zapotřebí akumulátory nadimenzovat alespoň na 3 dny, pokud nedojde k jiné domluvě s investorem. Jelikož jsou akumulátory drahé, bude použit jako záložní zdroj el. energie elektrocentrála.

V případě nedostatečného výkonu z akumulátorů se elektrocentrála automaticky připojí přes regulátor při poklesnutí kapacity akumulátorů na 20 %. V tomto okamžiku se odpojí výstupní střídač, aby nedocházelo k poškození akumulátoru vlivem hlubokého vybití. Elektrocentrála zajišťuje jak přímé napájení spotřebičů, tak nabíjení akumulátorů.

Elektrocentrála se používá jako záložní zdroj el. energie v místech, kde není k dispozici rozvodná síť. Využívá se jako špičkový generátor nebo jako dlouhodobý záložní zdroj pro zajištění nepřetržité dodávky el. energie.

Elektrocentrály se spalovacím motorem jsou soustrojí složené ze spalovacího motoru a generátoru na společné hřídeli. V závislosti na výkonu se používá buď benzínový, naftový, nebo LPG spalovací motor.

### 2.3.1. Typy

Podle rozměrů a účelu použití lze elektrocentrály rozdělit na mobilní a stacionární:

- **Mobilní** – spalovací motor s generátorem bývá uložen v trubkového rámu, který jej chrání. S ohledem na mobilitu nepřekročuje zpravidla hmotnost 100 kg. Používá se zejména jako záskokový zdroj na místech, kde není možnost napájení z rozvodné sítě.
- **Stacionární** – motorgenerátorové soustrojí bývá většinou uloženo v pevném kvádritém rámu. Používají se pro zálohu důležitých zařízení.

Podle činnosti se motorgenerátory dělí na:

- **Záskokové zdroje** - Primární funkcí těchto zdrojů, je schopnost dodávat elektrickou energii při výpadku el. energie. Důležitou součástí záskokového zdroje je záskokový automat. Záskokový automat hlídá stav v napájecí síti a následně vyhodnocuje její parametry. Při vzniku poruchového stavu, automat musí zareagovat. Po splnění zadaných podmínek musí co nejdříve vyslat impuls k odpojení hlavního zdroje a připojení zdroje záložního.
- **Neustále pracující zdroje** – Tyto zdroje jsou používány v místech bez zavedeného síťového napětí nebo v místech, kde vlivem živelných pohrom došlo k porušení stávající rozvodné sítě. S ohledem na neustálý provoz musí být součástky s ohledem na opotřebení dimenzovány.

### 2.3.2. Výkon

Při výběru elektrocentrály je třeba znát velikost, charakter a chování napájené zátěže. Pro správné stanovení jmenovitého výkonu je důležité znát instalovaný výkon spotřebičů, koeficient soudobosti, rozběhové proudy a účinníky. Dále je důležité mít v paměti symetrii zatížení.

Výkyvy v napájení vedou k vypínání přístrojů. V některých případech může dojít i k poškození přístroje. Regulátor napětí kontroluje výkon generátoru. Existuje několik různých způsobů, jak regulovat napětí na generátoru:

- **Střídavé** – vyskytují se nejčastěji v průmyslu. Jejich konstrukce je levná, jsou nejméně spolehlivé, co se týče výstupního napětí. Tento generátor nemůže reagovat na změnu zatížení, jelikož je schopen vyrábět nízký nebo vysoký výkon.
- **Automatický regulátor napětí** - Funkce AVR je důležitá neboť důsledně kontroluje napětí. Automatický regulátor napětí udržuje výstupní napětí na konstantní úrovni bez ohledu na zatížení. U tohoto generátoru nenastane pokles napětí.
- **Invertor** – Tyto jednotky se hodí pro citlivou elektroniku, jelikož vyrábějí nejčistší napětí ze všech.

### 2.3.3. Motor

Dalším aspektem při výběru elektrocentrál, je typ spalovacího motoru. Může být použit motor benzínový, naftový nebo na LPG. Nejčastěji se však používá benzínový a naftový motor.

- **Benzínový** – díky své nižší hmotnosti se používá především pro mobilní centrály s menším výkonem. Hlavní výhodou oproti naftovému je nižší hlučnost a nižší pořizovací cena. Nedostatkem je kratší životnost, spolehlivost při startu i při chodu. Nejčastěji se používají dvoutaktní motory.
- **Naftový** – tento typ se používá zejména pro stacionární centrály větších výkonů.

### 2.3.4. Automatický start

Pokud dojde na akumulátoru k poklesu napětí vlivem snížení kapacity, popřípadě pokud bude odebíráný výkon větší, než max. hodnota ze střídače automatika vyhodnotí tuto situaci jako krizovou a dá povel k nastartování elektrocentrály. Po ustálení chodu začne elektrocentrála dodávat energie do domácích rozvodů a začne nabíjet akumulátory. Po dobití akumulátorů popřípadě po odpojení spotřebiče s velkým příkonem se elektrocentrála samočinně odpojí a zastaví chod.

Automatický start i samotný startér je dimenzován s životností na více jak 20 let, za předpokladu pravidelného autorizovaného servisu.

[12], [13]

### 2.3.5. Výhody a nevýhody

**Výhody:**

- při vlastní spotřebě elektrické energie se nevyskytují ztráty způsobené přenosem
- produkují méně škodlivin dle využitého paliva
- mobilita
- jednoduché ovládaní

**Nevýhody:**

- nízká účinnost
- dlouhá návratnost na investici
- hlučnost jednotky

## 2.4. Solární regulátor

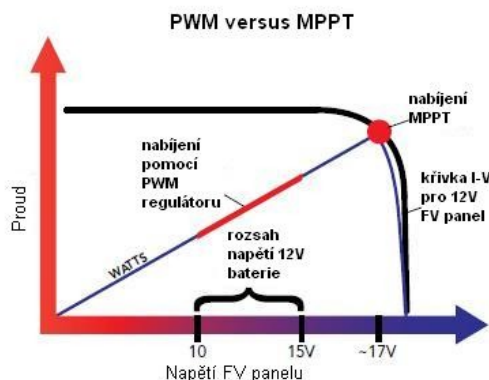
Solární regulátor popřípadě MPPT měnič je "mozkem" ostrovní FVE. Různé solární regulátory jsou z hlediska funkcí a kvality velmi rozdílné. Kvalita regulátoru výrazně ovlivňuje jak celkový výkon FVS, tak i využitelnou kapacitu a životnost akumulátorů. [14]

### 2.4.1. Klasický solární regulátor

Běžný solární regulátor je ve své podstatě stabilizátor napětí a automatická nabíječka akumulátorů. Solární regulátor snižuje napětí ze solárních panelů na takové, které je optimální pro dobíjení akumulátorů a dobíjí připojené akumulátory. V okamžiku, kdy jsou akumulátory plně nabity, provede odpojení od solárních panelů tak, aby nebyly "přebíjeny" a nesnižovala se jejich životnost. Dále pak "kontroluje" aktuální stav akumulátorů a udržuje je v optimálně nabitém stavu. Je důležité si vybrat právě takový solární regulátor, který disponuje nastavením pro maximální optimalizaci nabíjení s ohledem na určitý typ akumulátoru, který dovede automaticky spustit v době přebytku el. energie připojený spotřebič s velkým příkonem, zobrazují hodnoty dodané energie apod. Jelikož se jedná o koncepčně jednoduchý přístroj, je i jeho cena poměrně nízká. Hlavní nevýhodou klasických solárních regulátorů je jejich účinnost, ta se pohybuje pouze kolem 80 %. Účinnost je tak nízká, protože regulátor pracuje pouze s proudem, který je v daném okamžiku schopen FV panel dodat. Další omezení nastává při nízké intenzitě slunečního záření. V tom okamžiku je napětí dosažené z FV panelů nižší, než napětí potřebné k dobíjení akumulátorů. [14]

### 2.4.2. MPPT měnič

MPPT (Maximum Power Point tracking) měnič má vestavěný vysokofrekvenční DC-DC měnič, který mění vstupní stejnosměrné napětí na vysokofrekvenční střídavé. Toto napětí transformuje a opět mění na stejnosměrné, ale s jinou, než vstupní velikostí (při čemž se mění i hodnota proudu). Zjednodušeně se dá říci, že je MPPT měnič "speciální transformátor" pro stejnosměrné napětí a proud. Principem MPPT měniče je tedy optimalizace napětí a proudu. Tímto napětím a proudem je nabíjen akumulátor tak, aby byl využit "Maximum Power Point" (MPP), čili bod na V-A charakteristice s maximálně dosažitelným výkonem, což je patrné na obr. 2.24.



Obr.2.24. Porovnání V-A charakteristik při použití klasického solárního regulátoru a MPPT měniče [28]

Oproti solárnímu regulátoru má MPPT měnič výhodu, že lze využít solární panely s napětím třeba i 150V (sériově spojené solární panely). Je schopen velmi efektivně zpracovat výkon z těchto panelů, aniž by došlo k vyšším ztrátám v systému i při daleko vyšších napětích, než je napětí připojených akumulátorů.

U MPPT měničů vznikají samozřejmě také ztráty. Tyto ztráty se týkají účinnosti vestavěných aktivních a pasivních součástek a jsou stejně jako u solárních regulátorů relativně velmi malé. MPPT měniče mají ale daleko vyrovnanější charakteristiku výstupního výkonu vůči vstupnímu výkonu, než mají solární regulátory. Proto jejich účinnost dosahuje 95 %. Tohoto samozřejmě není klasický solární regulátor schopen dosáhnout.

Z vlastností klasických solárních regulátorů a MPPT měničů je tedy patrné, že solární regulátory jsou výhodnější u malých systémů, kde nás limituje hlavně cena. Na rozdíl od rodinných domů, kde by měl být MPPT měnič nezbytnou součástí jelikož je efektivnější. [14]

## 2.5. Akumulátory

Jednou z nejdůležitějších částí hybridního systému jsou akumulátory. Jelikož uchovávají vyrobenou el. energii na dobu, kdy jí bude potřeba. S ohledem na to, že jsou akumulátory jedny s nejdražších a nejchoulostivějších částí systému, je třeba dbát zvýšené pozornosti nejen při výběru jednotlivých komponentů souvisejících s akumulátorem, ale je potřeba vybrat ten správný typ akumulátoru. Pokud jsou akumulátory špatně dimenzovány, může dojít k nevyužití celé kapacity (při dimenzování). Nebo naopak systém nemá potřebnou kapacitu, která je zapotřebí k vykrytí dní bez slunečního záření popřípadě bez větru (pod dimenzování). Při poddimenzování nedokážou akumulátory dodat dostatečně velký proud spotřebičům s velkými rozběhovými proudy. Životnost akumulátoru hodně závisí na správně zvoleném solárním regulátoru.

U hybridních systémů se používají především údržbové a bezúdržbové olověné trakční akumulátory. Tyto akumulátory jsou velmi náchylné na dobíjení a vybíjení, jak se ukazuje v praxi. Jejich životnost (počet cyklů) pro tyto systémy bývá nedostačující, jelikož ta v případě optimálních podmínek můžou dosahovat cca 1000 cyklů. Poměrně dražší variantou jsou NiCd a NiFe akumulátory. Tyto akumulátory mají životnost několikanásobně vyšší. Asi nejideálnější akumulacími médii jsou Lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePO<sub>4</sub>), které mají životnost minimálně trojnásobně vyšší a mají i další velmi výhodné parametry. Jejich hlavní nevýhodou je cena, která je asi dvojnásobná oproti olověným akumulátorům.

Ideální akumulátorová baterie pro hybridní systémy by měla splňovat následující požadavky:

- minimální samovybíjení
- pracuje s dobrou účinností už při malých nabíjecích proudcích
- je vhodná pro cyklický provoz
- snese hlubší vybíjení
- vyžaduje minimální údržbu

- dlouhá životnost
- minimální snížení nabíjecích a vybíjecích vlastností při nízkých teplotách

### 2.5.1. Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou stále nejpoužívanější elektrochemickým zdrojem energie pro hybridní systémy. Vyrábějí se v rozmezí 1 Ah až 10000 Ah. U plně nabitého akumulátoru je jeho svorkové napětí cca 2,2 V. Při vybití poklesne téměř na cca 1,75 V. Vybíjecí pracovní proud bývá 0,05 násobek celkové kapacity akumulátoru. Jelikož startovací akumulátor (autobaterie) nejsou pro tyto systémy vhodné, nebudou zde popsány.

- **Trakční akumulátor se zaplavenými elektrodami:**

Jedná se o "klasický" typ akumulátoru, který není hermeticky uzavřený. Při nabíjení se z něj uvolňuje vodík, navíc může během nabíjení dojít k "vyfouknutí" spolu s plynem i trochu z tekutého elektrolytu. Proto může být trakční akumulátor (baterie) během provozu potřísněn elektrolytem. Tento typ akumulátoru musí být umístěn pouze v dobře větraných prostorách. Umístění v obytných prostorách je naprosto nevyhovující. Hlavní výhodou tohoto typu akumulátoru je obvykle možnost dobíjení vyšším proudem, než VRLA akumulátory.

- **Trakční akumulátor v provedení VRLA (Valve Regulated Lead Acid batteries)**

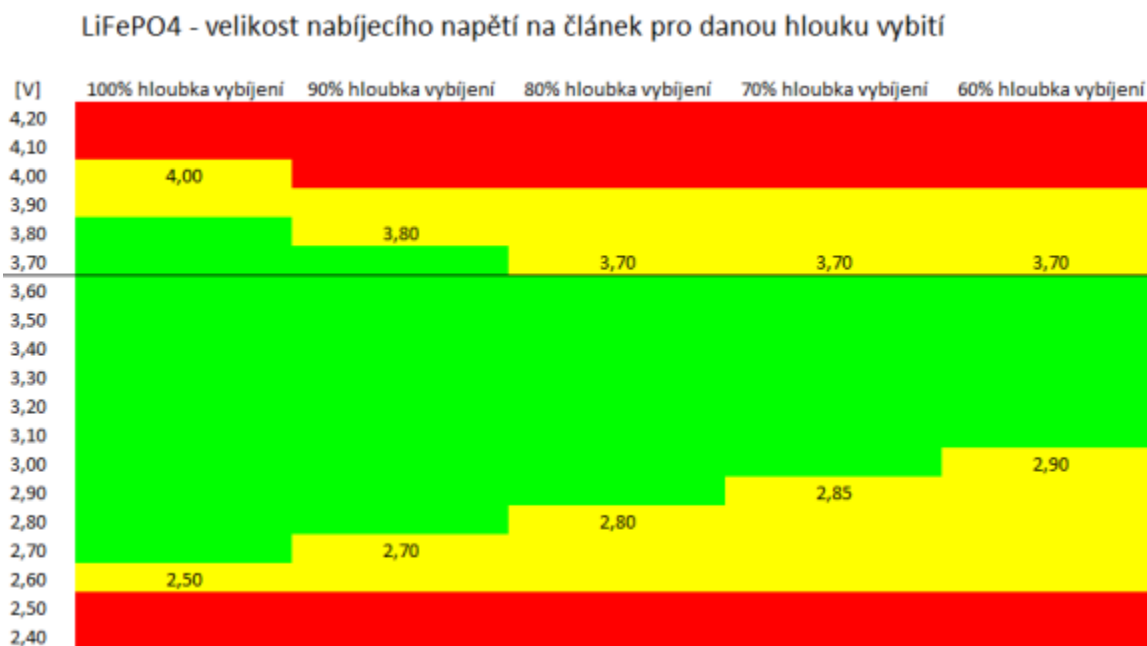
Tyto akumulátory jsou bezúdržbové, hermeticky uzavřené a jsou na velmi vysoké úrovni. Dělí se na gelové akumulátory (elektrolyt je ve formě hustého gelu) a AGM akumulátory (kapalný elektrolyt je nasáknut do skelné hmoty). Oproti gelovým jsou AGM akumulátory schopné podávat vysoký výkon i při nízkých teplotách. Při stejné kapacitě jsou asi o 10% lehčí a jsou schopné dodat až o 30% vyšší okamžitý výkon než gelové akumulátory. Hlavní nevýhodou je asi o 10% nižší životnost. Gelové akumulátory umí lépe čelit hlubokému vybití a nepodléhají tak velkému samovybití.

[6], [14], [15]

### 2.5.2. Lithium-železo-fosfátové akumulátory ( $\text{LiFePO}_4$ )

Novou generací lithium iontových nabíjecích baterií jsou akumulátory postavené na lithium železo fosfátu ( $\text{LiFePO}_4$ ). Toto označení získaly díky katodě vyrobené z tohoto materiálu. Anoda je jako u ostatních li-ion baterií vyrobena z uhlíku. Mezi jejich hlavní přednosti oproti klasickým lithium iontovým akumulátorům patří především schopnost dodat vyšší proud a to, že při extrémních podmínkách nevybuchují. Tyto akumulátory netrpí paměťovým efektem, takže je možné nabíjet je v jakémkoliv stavu vybití, další výhodou je absence samovybití. Nominální napětí  $\text{LiFePO}_4$  článků je 3,2 V (3,0 až 3,3 V), maximální nabíjecí napětí je 4,2 V. Minimální napětí, na které je článek ještě možné vybit je 2,5 V. Pro prodloužení životnosti je dobré se pohybovat v mezích uvedených na obr. 3.1. Některé akumulátory jsou schopny dodat pracovní proud impulsně až 10C (tj 10x kapacita). Jejich životnost je udávána více než 2000 cyklů. S ohledem na velmi nízkou teplotní závislost na kapacitě je lze použít v rozmezí -45 °C až +85 °C. Na rozdíl od olověných akumulátorů jsou mnohem lehčí a

nejsou toxické. Při provozování je nutné použít Battery Management Systém (což je název pro monitorovací a sledovací zařízení). Tento systém kontroluje a zaznamenává stav jednotlivých článků nebo baterií. Před prvním použitím je nutné nabít tyto akumulátory na plnou kapacitu i přes to, že jsou z výroby částečně nabitě. První nabíjení (inicializační) by mělo být provedeno maximálně proudem 1C. Kapacita v prvních cyklech postupně roste až na 110 %. Dále se doporučuje vyhnout prudkému vybíjení až na minimální kapacitu a následné rychlo nabíjení v prvních šesti cyklech. Po prvních šesti cyklech je zapotřebí pro srovnání napětí na jednotlivých člancích provést inicializační nabíjení.



Obr.2.25. Provozní napětí na články akumulátoru LiFePO<sub>4</sub>

### 2.5.3. Srovnání LiFePO<sub>4</sub> a olověného akumulátoru

V této kapitole srovnám charakteristické parametry olověného gelového akumulátoru Aku Hoppecke 90Ah a LiFePO<sub>4</sub> akumulátoru Lithium Battery 12V/90Ah.

Tab.2.2.Srovnání olověného a LiFePO<sub>4</sub> akumulátoru

Akumulátor - typ	Olověný	LiFePO <sub>4</sub>
Nominální napětí akumulátoru	12 V	13,2 V
Počet článků	6	4
Doba nabíjení	min. 11 h	min. 2 h
Možnost okamžitého použití	ano	ne
Maximální vybíjecí proud	8 A	100 A
Hustota energie	30-50 Wh/kg	90-120 Wh/kg
Počet cyklů (hloubka vybíjení)	max. 700	min. 2000
Cena s DPH	6100 Kč	10700 Kč

[19], [20]



## 2.6. Odpojovač spotřebičů

Odpojovač spotřebičů slouží, jako ochrana proti hlubokému vybití baterie. Odpojí baterii od zátěže předtím, než je baterie zcela vybitá (nebezpečí poškození) nebo dokud má ještě dostatek kapacity například pro nastartování generátoru.

V případě, že na baterii klesne napětí pod nastavenou hodnotu, výstup alarmu se aktivuje po uplynutí následujících 15 sekund. Podstata časové prodlevy je v tom, že nebude aktivován alarm, pokud se připojí elektrocentrála. Výstup alarmu se typicky připojuje na zvukový alarm nebo ke světelné signalizaci. Po jedné minutě od spuštění alarmu se odpojí zátěž. Pokud během této minuty napětí baterie vzroste na úroveň „připojovací prahové hodnoty“, zátěž nebude odpojována. [18]

## 2.7. Vzdálené sledování a ovládání

Toto zařízení umožňuje pomocí GSM/GPRS/LAN modemu vzdálené sledování a ovládání měničů/nabíječek, nebo umožňuje vzdáleně sledovat stav baterií pomocí sledovače stavu baterií. S tímto zařízením je systém plně pod kontrolou, ať je majitel kdekoli. Systém umožňuje přijímání automatických alarmových hlášení a varování i běžného sledování systému pomocí krátkých textových zpráv (SMS). Dále je zde možnost on-line číselného i vizuálně dokonalého grafického sledování (monitoringu) aktuálních i historických stavů pomocí PC kdekoli, kde je přístup k internetu. Velkou výhodou je nejen sledování, ale i možnost vzdáleného softwarového pře nastavování zařízení. [18]

## 2.8. Měniče napětí

Střídač je důležitým prvkem hybridního systému. Jeho úkolem je přeměnit stejnosměrné nízké napětí z akumulátorů na střídavé napětí. Přeměna stejnosměrného proudu na střídavý se provádí výkonovými tranzistory, s jejichž pomocí se proud až 20 000 x za sekundu zapíná a vypíná. Tento „rozsekaný“ stejnosměrný proud se pak pomocí transformátorů přemění na požadované vyšší výstupní napětí. To se využívá pro napájení běžných síťových spotřebičů.

Měniče napětí se podle tvaru výstupního napětí dělí na měniče s modifikovanou sinusovkou (trapezové měniče) a čistou sinusovkou.

Dalším kritériem při výběru střídače je trvalý maximální výkon. Střídač musí být schopen dodávat maximální trvalý výkon všech současně používaných spotřebičů po časově neomezenou dobu. Jeho jmenovitý výkon musí tedy být roven nejméně součtu hodnot příkonů všech současně připojených spotřebičů na 230 V. Špičkový výkon střídače, který se rovněž uvádí, může být až tři krát vyšší než jmenovitý výkon, je obvykle k dispozici jen po dobu několika sekund a je potřebný pro zapínání indukčních spotřebičů. Tyto přístroje odebírají po dobu zlomku sekundy několikanásobek příkonu uvedeného na štítku.

Jako pohotovostní příkon se označuje vlastní spotřeba střídače, kterou vykazuje, pokud je nezatížen, tedy není na něj připojena žádná zátěž.

**Požadavky na napěťové měniče:**

- přeměna musí být provedena s dobrou účinností (90 – 95 %)
- musí zajišťovat bezpečný provoz
- snadná kontrola stavu
- vhodný je automatický provoz
- minimální klidový odběr v nezatíženém stavu

**Na vstupní straně:**

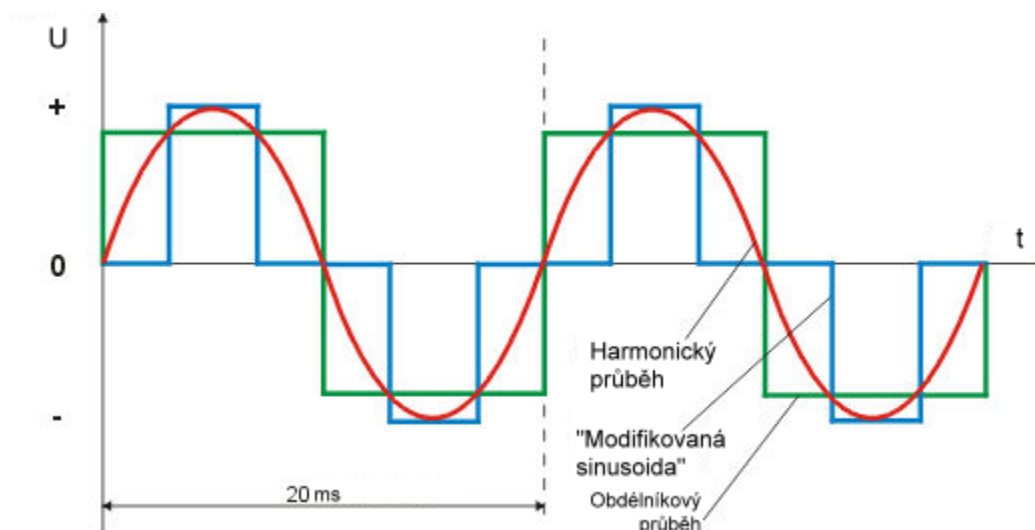
- měnič musí být schopen pracovat v rozsahu kolísání napětí na baterii
- musí zajišťovat ochranu akumulátorové baterie proti hlubokému vybití
- měnič musí být odolný proti přepólování vstupních svorek
- odolnost proti přepětí na vstupu měniče

**Na výstupní straně:**

- průběh výstupního proudu musí odpovídat dané aplikaci
- je požadována stabilita velikosti napětí a kmitočtu
- měnič musí snést krátkodobé přetížení – až 1,5 násobek jmenovitého výkonu
- odolnost proti zkratu

**2.8.1. Měnič s modifikovanou sinusovkou**

Jelikož jsou tyto měniče levnější, používají se pro menší systémy s výstupním napětím, které neodpovídá harmonickému průběhu. V důsledku strmých vzestupných a sestupných hran obsahuje výstupní napětí vyšší harmonické, které ruší provoz některých spotřebičů. Většina elektrospotřebičů je schopna pracovat i s takovým napájecím napětím. Problémy mohou nastat u točivých strojů. Kdy vyšší harmonické složky z měniče způsobují větší výkonové ztráty a vibrace, tedy větší mechanické namáhání motoru. Dále mohou být tímto napětím ovlivněny různé citlivé el. zařízení.



Obr.2.26. Průběh modifikované sinusovky[21]

Na Obr. 2.26. je vidět, že výstupní napětí z generátoru nabývá tří hodnot. Vrcholové napětí, které je ekvivalentní harmonickému průběhu s kladnou a zápornou polaritou a napětí nulové.

### 2.8.2. Měníč s čistou sinusovkou

Tyto střídače vyrábí sinusové výstupní napětí, což vyžaduje vyšší náklady na vnitřní elektroniku. Vyrobené napětí neobsahuje téměř žádné vyšší harmonické, takže všechny el. přístroje bez problému fungují. Pro domovní aplikace se používají tyto střídače. Jejich hlavní výhodou je velmi dobrá účinnost.

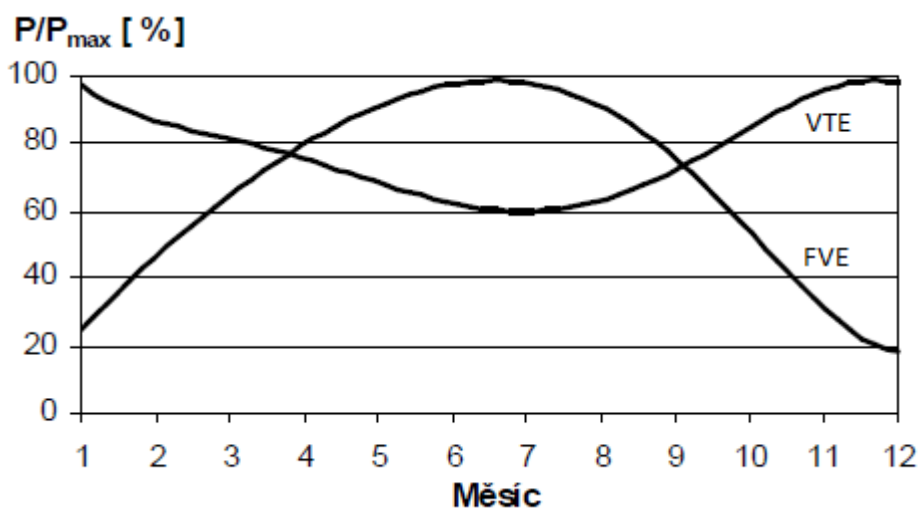
[21]

### 3. Vlastní návrh energetické jednotky (rodinný dům)

Pro návrh energetické jednotky pro ostrovní provoz byl vybrán jednogenerační rodinný dům mých rodičů. Dům je postaven v Moravskoslezském kraji, přesněji v Mostech u Jablunkova (49°31'48.587"N, 18°45'24.891"E). Dům je situován přímo na Jih se sklonem střechy 35 °. Na střeše jsou již instalovány solární kolektory pro ohřev vody.

Návrh ostrovního systému je hledáním kompromisu mezi náklady na instalaci a provoz na jedné straně a spolehlivostí systému na straně druhé. Spolehlivost systému je naprostá priorita pro provozovatele i v případě omezeného rozpočtu. Nedílnou součástí systému je dostatečný uživatelský komfort.

S ohledem na celoroční provoz byla pro návrh ostrovního systému vybrána jak FVE tak VTE. Při špatných meteorologických podmínkách bude připraven jako záložní zdroj elektrocentrála s automatickým startem.



Obr.3.1. Roční průběh sluneční a větrné energie

S ohledem na klimatické podmínky a zejména na dostatečné množství větru v dané lokalitě byla navržena kapacita akumulátorů tak, aby pokryla tří denní provoz. Podle výpočtů, by měl nastat nedostatek vyrobené el. energie při použití jen první varianty a to jen v zimním období. Tento nedostatek energie bude dotován z elektrocentrály. Při použití druhé varianty by nedostatek energie nastat neměl, naopak budou značné přebytky vlivem použití VTE, tyto přebytky budou použity jako doplňkový zdroj solárních kolektorů pro ohřev teplé vody.

#### 3.1. Spotřeba el. energie

Při měření spotřeby rodinného domu byl použit monitor distribučních sítí MDS-U, který je majetkem VŠB-TU Ostrava. Provádělo se nepřetržité měsíční měření od 11. 11. 2012 do 9. 12. 2012 s minutovým vzorkováním.

Z naměřených dat byla dopočítána průměrná spotřeba rodinného domu a tedy potřebný průměrný příkon. Z naměřených hodnot byla také odečtena maximální hodnota příkonu, podle které je navrhnut měnič napětí.

Průměrný příkon rodinného domu:

$$P_p = 320 \text{ W} \cdot h$$

Spotřeba energie za 24 h:

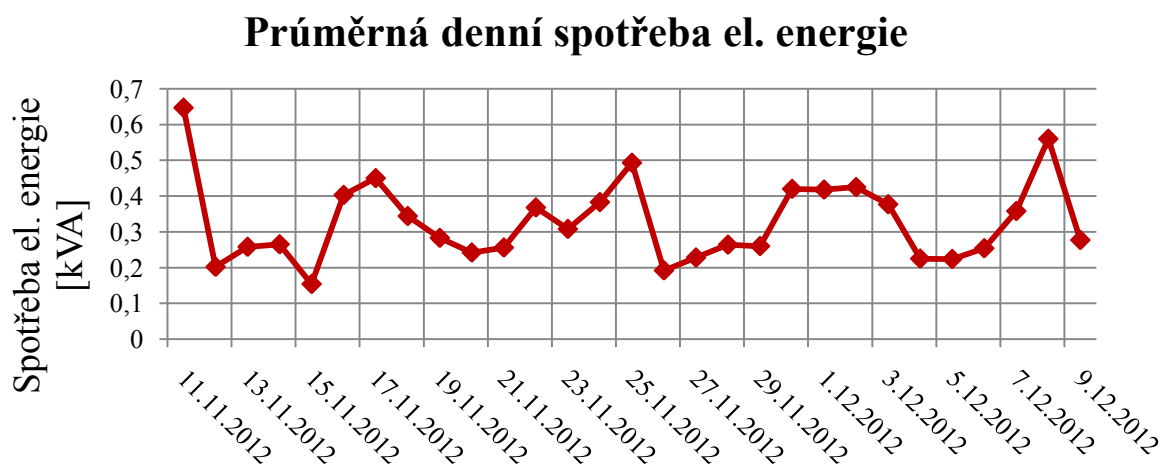
$$A_{d24} = P_p \cdot 24 = 320 \cdot 24 = 7680 \text{ Wh} \approx 7,7 \text{ kW} \cdot h \quad (3.1.)$$

Spotřeba energie za 3 dny:

$$A_{d72} = A_{d24} \cdot 3 = 7680 \cdot 3 = 23040 \text{ Wh} \approx 23 \text{ kW} \cdot h \quad (3.2.)$$

Maximální příkon:

$$P_{max} = 5 \text{ kW}$$



Obr.3.2. Graf měsíčního příkonu rodinného domu

### 3.2. Ztráty v ostrovním systému

Tato kapitola se bude zabývat jenom účinnostmi a ztrátám jednotlivých částí ostrovního systému. Ztráty na jednotlivých prvcích ostrovního systému jsou často opomíjeny. I když se jedná o zcela zásadní věc při návrhu vhodně dimenzovaného ostrovního systému.

Provoz každého el. zařízení si sebou nese i ztráty. Tyto ztráty se projevují tím, že množství el. energie, které je možné z daného zařízení získat je menší, než energie, která je do elektrického zařízení dodána. Tato energie se promění na teplo. S ohledem na účinnost všech zařízení v systému je nutné navýšit celkový výkon, kterým musí ostrovní systém disponovat.

**Ztráty v solárním regulátoru a MPPT měniči**

S ohledem na účinnost a další výhody MPPT měniče se bude v návrhu používat právě toto zařízení. Jelikož tato diplomová práce může sloužit, jako vzor při návrhu dalších systémů uvedu zde výpočet i pro klasický solární regulátor, ale dále budu používat jen výsledky s MPPT měničem.

Účinnost solárního regulátoru:  $\eta_{reg} = 80 \%$

Účinnost MPPT měniče:  $\eta_{MPPT} = 95 \%$

Spotřeba se ztrátami v klasickém solárním regulátoru:

$$A = \frac{A_{d24}}{\eta_{reg}} = \frac{7680}{0,80} = 9600 \text{ W} \cdot h \quad (3.3.)$$

Spotřeba se ztrátami v MPPT měniči:

$$A = \frac{A_{d24}}{\eta_{MPPT}} = \frac{7680}{0,95} = 8084 \text{ W} \cdot h \quad (3.4.)$$

**Ztráty v kabelech, svorkách, konektorech**

Dalšími z řady ztrát jsou ztráty v kabeláži a ztráty díky přechodovému odporu v konektorech a svorkách. Výše ztrát je závislá na délce a průřezu připojovacích kabelů. Tyto ztráty jsou okolo 2 - 4 %, budu tedy počítat s 3%.

Účinnost je tedy:  $\eta_{kabel} = 97 \%$

Spotřeba se ztrátami v kabeláži, svorkách a konektorech

$$A = \frac{A}{\eta_{kabel}} = \frac{8084}{0,97} = 8334 \text{ W} \cdot h \quad (3.5.)$$

**Ztráty při akumulaci el. energie**

U akumulátorů se pohybují ztráty při nabíjení kolem 10 %.

Účinnost nabíjení je tedy:  $\eta_{nab.} = 90 \%$

$$A = \frac{A}{\eta_{nab.}} = \frac{8334}{0,90} = 9260 \text{ W} \cdot h \quad (3.6.)$$

**Ztráty v měniči napětí**

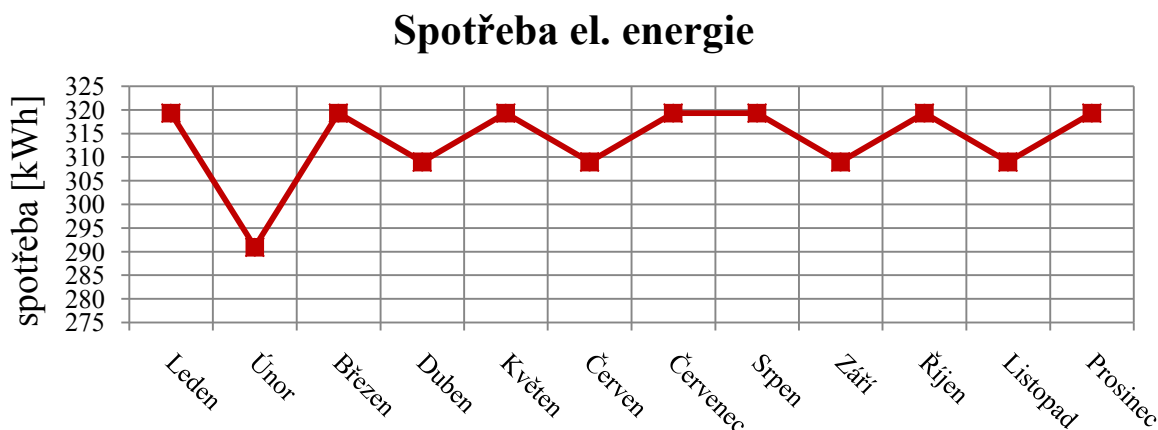
Jelikož bude použit docela kvalitní měnič, budou jeho ztráty jen 10 %.

Účinnost měniče je tedy:  $\eta_{menic} = 90 \%$

$$A = \frac{A}{\eta_{menic}} = \frac{9290}{0,90} = 10300 \text{ W} \cdot h \quad (3.7.)$$

**Měsíční spotřeba el. energie s uvažováním ztrát**

$$E_z = A \cdot \text{počet dní} = 10300 \cdot 31 = 319,3 \text{ kW} \cdot h \quad (3.8.)$$



Obr.3.3. Graf teoretické měsíční spotřeby rodinného domu el. energie se započítáním ztrát v systému

### 3.3. Dimenzování akumulátorů

Jelikož jsou pořizovací náklady akumulátorů velmi vysoké, je potřeba je správně nadimenzovat. Nedílnou součástí správně navržených akumulátorů je výběr správného solárního regulátoru nebo MPPT měniče. Při použití nesprávného typu, může docházet k hlubokému vybíjení nebo přebíjení, tím klesá jejich životnost, což je největší problém při akumulaci energie.

Dimenzování kapacity akumulátorů se provádí na určitý počet dní s ohledem na použitý zdroj a typ provozu zde byly zvoleny 3 dny. Pokud v tomto období budou nevyhovující meteorologické podmínky, bude použita elektrocentrála. Pokud je potřeba akumulátory pospojovat, měly by být stejného typu a také stáří a měly by být stejně vybité. Při sériovém spojení se sčítá napětí a při paralelním se sčítá jejich kapacita. Dalším důležitým aspektem při výběru správného typu akumulátoru je využitelná kapacita.

Byly vybrány akumulátory s využitelnou kapacitou 80 % a systémovým napětím 48 V.

Kapacita akumulátorů pro 48 V:

$$C_B = \frac{(E_z \cdot n)}{(V_B \cdot DOD_{\max})} = \frac{(10300 \cdot 3)}{(48 \cdot 0,8)} = 800 \text{ A} \cdot h \quad (3.9.)$$

$C_B$  – kapacita akumulátorů

$E_z$  – energie spotřebovaná zátěží

$n$  – počet dní bez dobíjení

$V_B$  – napětí akumulátorů

$DOD_{max}$  – dovolená hloubka vybití akumulátoru

[14]

### 3.4. Dimenzování FVP

Návrh autonomního FVS pro domovní aplikace se provádí na letní nebo celoroční provoz. Pro letní provoz se dimenzuje FVE na měsíce od června do srpna. Pro celoroční provoz je FVE dimenzována na měsíce březen až říjen, jelikož jsou tyto měsíce s nadprůměrnou intenzitou slunečního záření a tedy i nadprůměrnou výrobou el. energie, což můžete vidět v grafu (Obr. 3.4.).

Pro vlastní návrh byla použita aplikace PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), která slouží k správnému nadimenzování ostrovního systému. Ovládání je jednoduché a skládá se z těchto kroků. Pro začátek je třeba zadat konkrétní místo, kde bude FVE instalována a typ panelu. Dále je třeba nastavit výkon FVE, ztráty systému, umístění panelů a odklon od jižního směru.

Pro představu, jaké množství el. energie je schopný vyprodukovat FVP o výkonu 100 Wp pro danou lokalitu denně, v jednotlivých měsících roku, doporučuji nahlédnout do následující tabulky:

[14], [22]

Tab. 3.1. Energie vyrobená z fotovoltaického panelu o výkonu 100 Wp.

měsíc	Energie vyrobená za den [kWh]	Energie vyrobená za měsíc [kWh]
leden	0.12	3.59
únor	0.18	4.95
březen	0.29	9.8
duben	0.41	12.3
květen	0.42	12.9
červen	0.41	12.4
červenec	0.40	12.5
srpen	0.40	12.3
září	0.32	9.45
říjen	0.21	6.54
listopad	0.12	3.55
prosinec	0.10	3.16
roční průměr [kWh]	0.281	8.56
celkem za rok [kWh]	103	



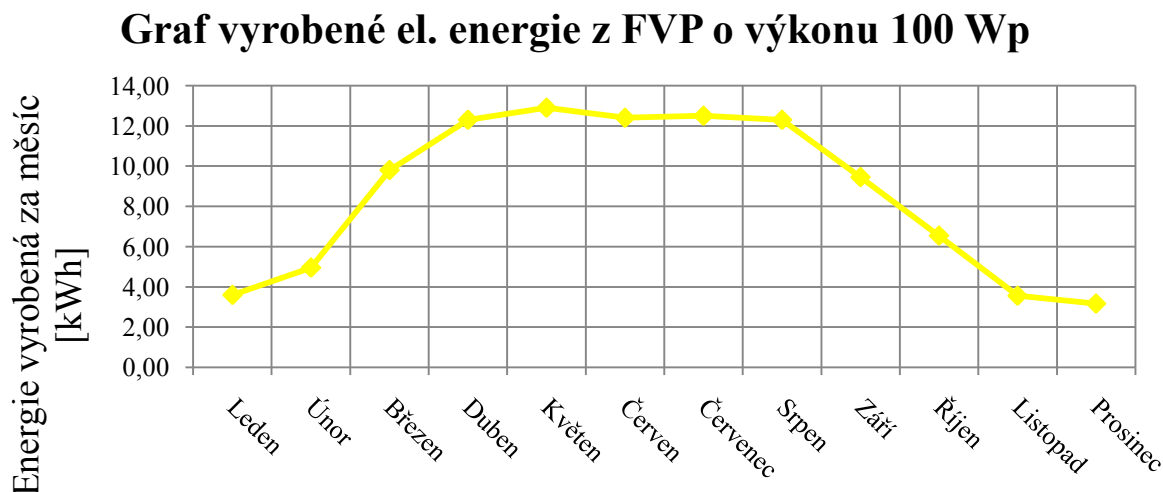
Město: Mosty u Jablunkova

Fotovoltaický panel - výkon: 100Wp (0,1kWp)

Orientace panelů: jižně

Sklon panelů: 35°

Obr.3.4. Graf teoretické vyrobené el. energie z FVP o výkonu 100 Wp



### 3.4.1. Teoretický návrh ostrovního systému celoroční provoz (bez VTE)

Z tabulky 3.1. s přehledem průměrné denní výroby el.energie v jednotlivých měsících v roce, kterou vyrobí FVP o výkonu 100 Wp vybereme měsíc z rozsahu březen-říjen s nejnižší denní průměrnou výrobou. Nejnižší denní průměrná vyrobená el.energie je v říjnu s hodnotou 0,21Wh (210 Wh).

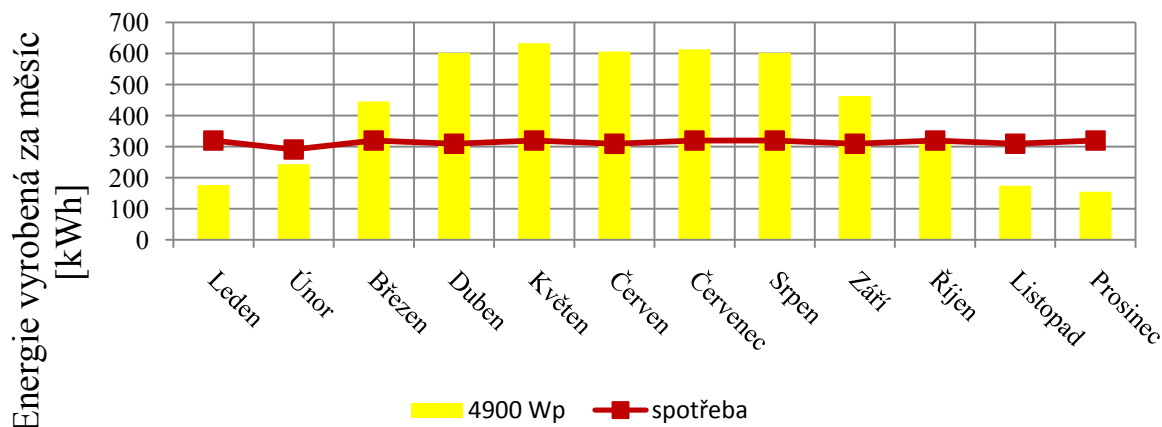
Tuto hodnotu 210 Wh budeme považovat za výchozí, protože jakákoli jiná hodnota z rozsahu je vyšší. Pokud by jsme místo nejnižší hodnoty použili jinou, pak by systém v měsíci říjnu pravděpodobně nevyrobil potřebné množství el. energie.

Na základě výchozího údaje o množství vyrobené energie za jeden den (210 Wh) v měsíci říjnu, můžeme stanovit koeficient pro zjednodušení dalších, i tak velmi jednoduchých početních úkonů. Pokud tedy FV o výkonu 100 Wp vyrobí za jeden den 210 Wh el. energie, potom 1Wp instalovaného výkonu fotovoltaického solárního panelu vyrobí 2,1 Wh.

Ze stanoveného koeficientu vypočítáme potřebný výkon FVE za předpokladu použití MPPT měniče.

$$P = \frac{E_z}{E_d} = \frac{10300}{2,1} = 4900 \text{ Wp} \quad (3.10.)$$

### Graf vyrobené el. energie z FVP o výkonu 4900 Wp



Obr.3.5. Graf teoretické vyrobené el. energie z FVP o výkonu 4900 Wp

Z grafu vyrobené energie z FVE o výkonu 4,9 kWp je patrné, že v letních měsících bude přebytek vyrobené el. energie. Naopak v zimních měsících jí bude nedostatek a chybějící energii bude muset dodat elektrocentrála. [14]

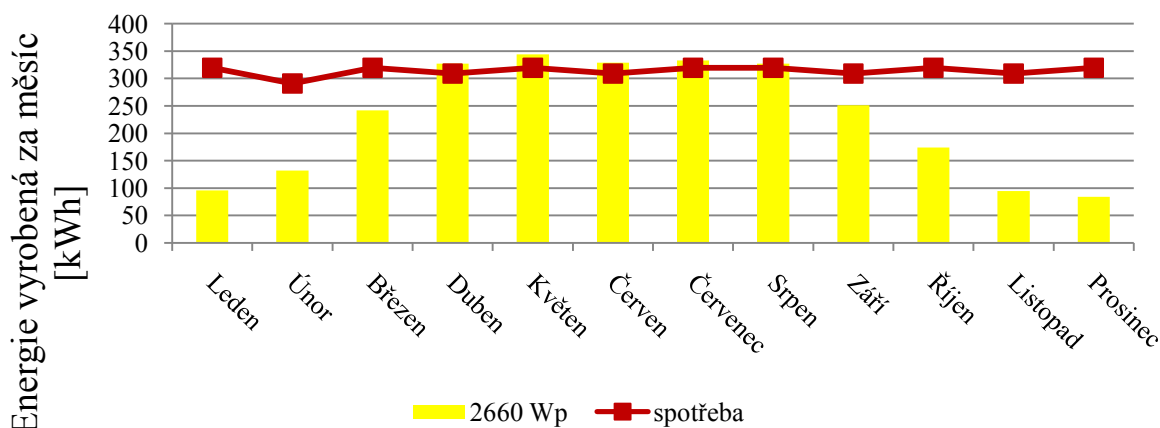
#### 3.4.2. Teoretický návrh hybridního systému pro celoroční provoz (s VTE)

Při vlastním návrhu FVE, která bude doplněna o VTE, byl zvolen kompromis mezi výkonem FVE a VTE. Jelikož se dům nachází ve větrné lokalitě, není zapotřebí tak výkonná FVE. Proto byl z tabulky 3. 1. vybrán měsíc červenec, i když to není měsíc s nejnižším množstvím vyrobené el. energie, ale za daných podmínek je tento výkon dostačující.

Ze stanoveného koeficientu pro červenec byl vypočítán potřebný výkon FVE za předpokladu použití MPPT měniče.

$$P = \frac{E_z}{E_d} = \frac{10300}{4} = 2575 \text{ Wp} \quad (3.11.)$$

### Graf vyrobené energie z FVP o výkonu 2660 Wp

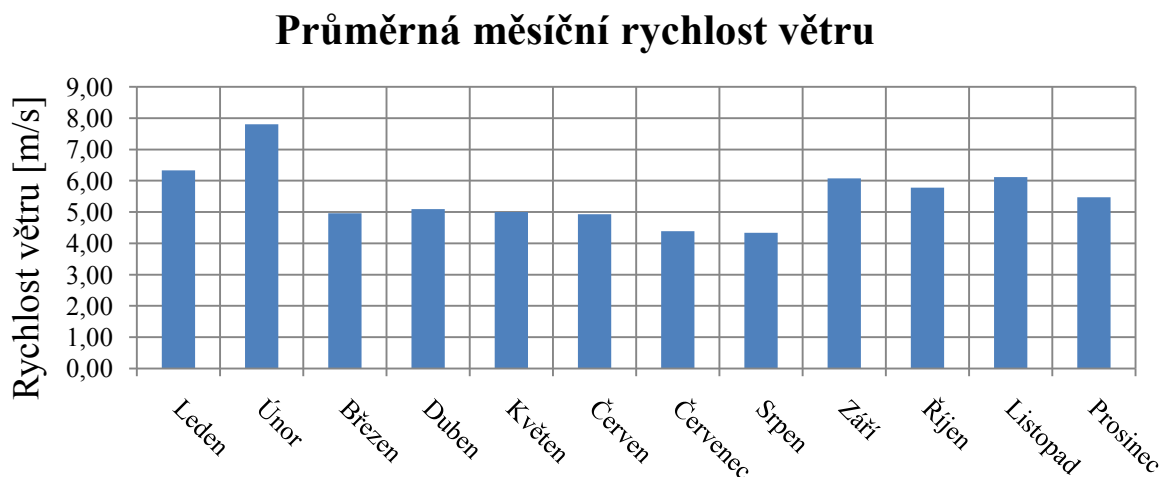


Obr.3.6. Graf teoretického množství vyrobené el. energie z FVE o výkonu 2660 Wp

S ohledem na zhoršování parametrů FVP vlivem stárnutí, byl systém předimenzován na 2660 Wp.

### 3.5. Dimenzování VTE

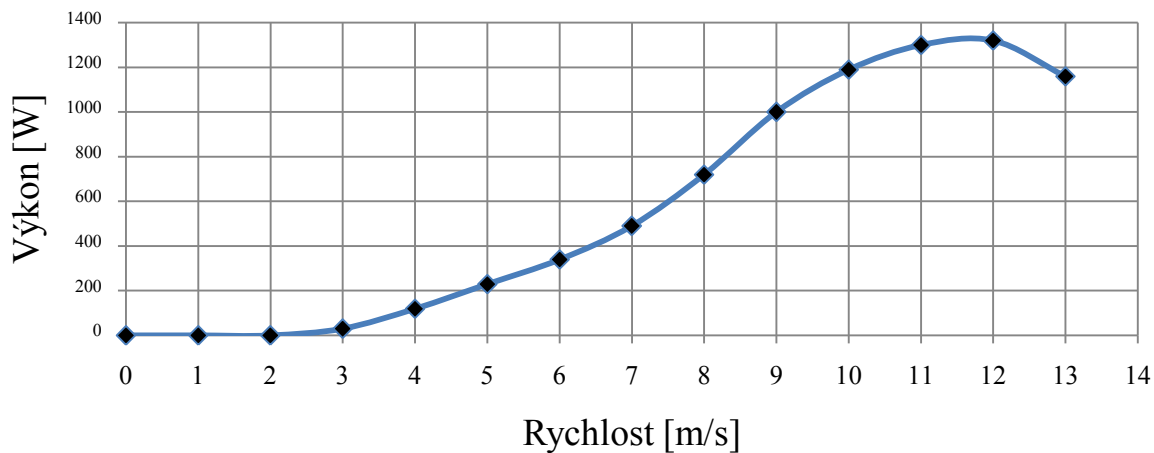
Při vlastním návrhu VTE, která bude sloužit, jako doplňkový zdroj v případě nepříznivých světelných podmínek a v zimních měsících byla použita data naměřená z meteorologické stanice z nedalekého lyžařského areálu. Lyžařský areál poskytl naměřené rychlosti větru za celý rok 2012, kdy se rychlost větru měřila v intervalech 10 minut a výšce 10 m. Jelikož se tento areál nachází ve vzdálenosti cca 500 m od domu, kde se počítá s výstavbou VTE, budou tyto hodnoty přibližně stejné na obou místech. Jelikož obec Mosty u Jablunkova leží v údolí mezi horami, panují zde ideální podmínky pro výstavbu VTE. Naměřené hodnoty se shodují i s průměrnými hodnotami větru z větrné mapy tedy obr 2.2.



Obr.3.7. Graf průměrné rychlosti větru v Mostech u Jablunkova

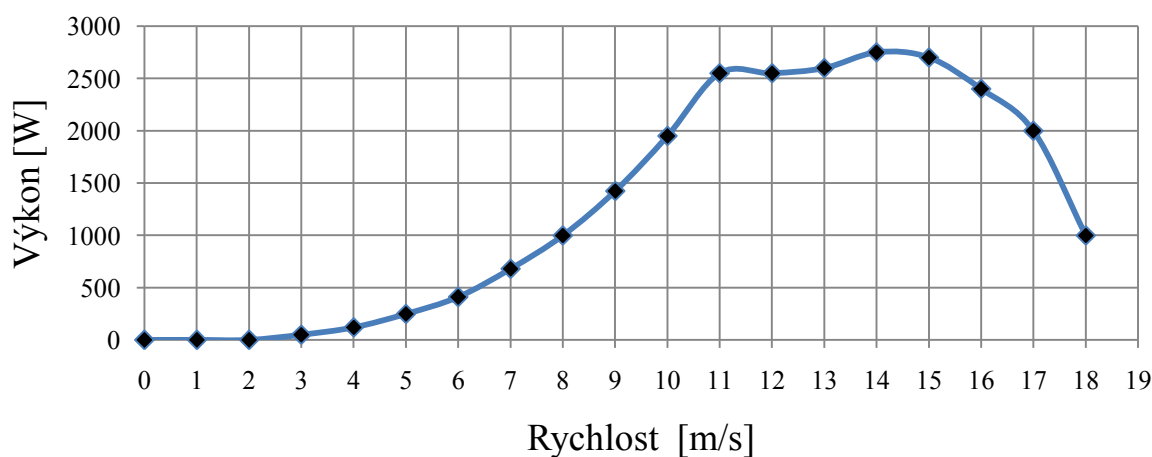
Jelikož se průměrná roční hodnota rychlosti větru v Mostech u Jablunkova pohybuje kolem 5,5 m/s, což je vidět v grafu (obr.3.7.). Při návrhu bylo počítáno se dvěma výkonovými variantami VTE s horizontální osou otáčení od českého výrobce AERPLAST s.r.o. Na území ČR je mnoho firem zabývajících se prodejem malých VTE pro ostrovní provoz. Většina z nich však prodává čínské produkty za srovnatelnou cenu, proto padlo rozhodnutí právě na tuto firmu. Majitel firmy pan Gežo poskytl výkonové charakteristiky VTE AP1200 (obr.3.8.) a AP2500 (obr.3.9.). Už z názvů větrných turbín je jasné, že se jedná o výkony 1200 W a 2500 W.

### Výkonová charakteristika AP1200



Obr.3.8. Výkonová charakteristika VTE AP1200

### Výkonová charakteristika AP2500



Obr.3.9. Výkonová charakteristika VTE AP2500

Při vlastním návrhu byl z výkonových charakteristik pro průměrné rychlosti větru pro dané měsíce odečten výkon VTE. Následně dopočítán výkon VTE pro celé měsíce. Průměrné vypočtené výkony pro dané měsíce můžete vidět v tab.3.2. a následně v grafu (obr.3.10.).

$$P_{VTE} = P_{odečtený} \cdot n = 400 \cdot 744 = 297,6 \text{ kW} \cdot h \quad (3.12.)$$

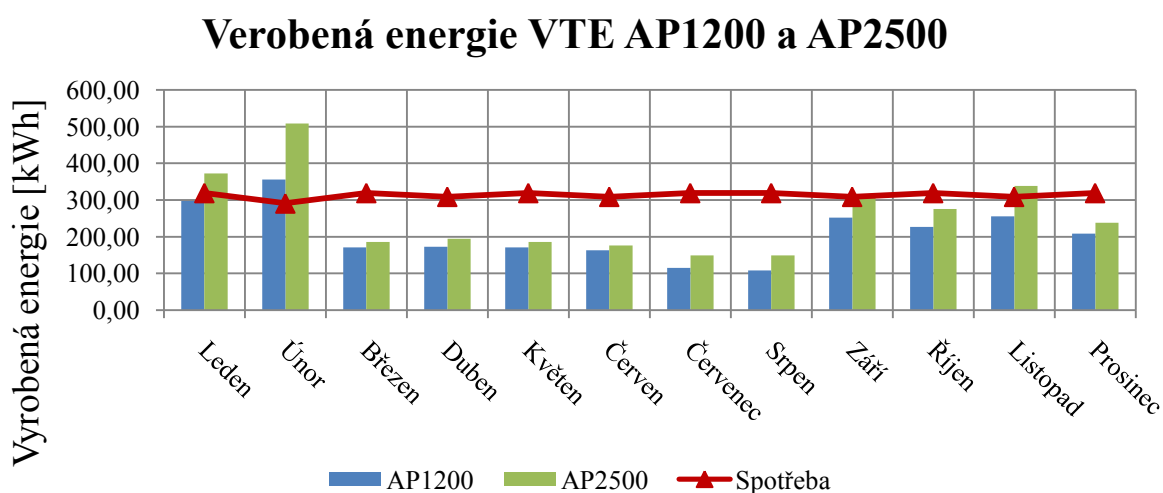
$P_{VTE}$  - výkon VTE

$P_{odečtený}$  - odečtený výkon z výkonové charakteristiky

$n$  - počet hodin v měsíci

Tab. 3.2. Teoretické množství vyrobené el. energie z VTE AP1200 a AP2500

Měsíc	Průměrná rychlost větru [m/s]	Teoretická měsíční výroba [kWh]	
		AP1200	AP2500
Leden	6,33	297,60	372,00
Únor	7,20	355,95	508,50
Březen	4,96	171,12	186,00
Duben	5,09	172,80	194,40
Květen	5,00	171,12	186,00
Červen	4,93	163,44	176,40
Červenec	4,38	115,32	148,80
Srpen	4,33	107,88	148,80
Září	6,08	252,00	309,60
Říjen	5,77	226,92	275,28
Listopad	6,12	255,60	338,40
Prosinec	5,47	208,32	238,08

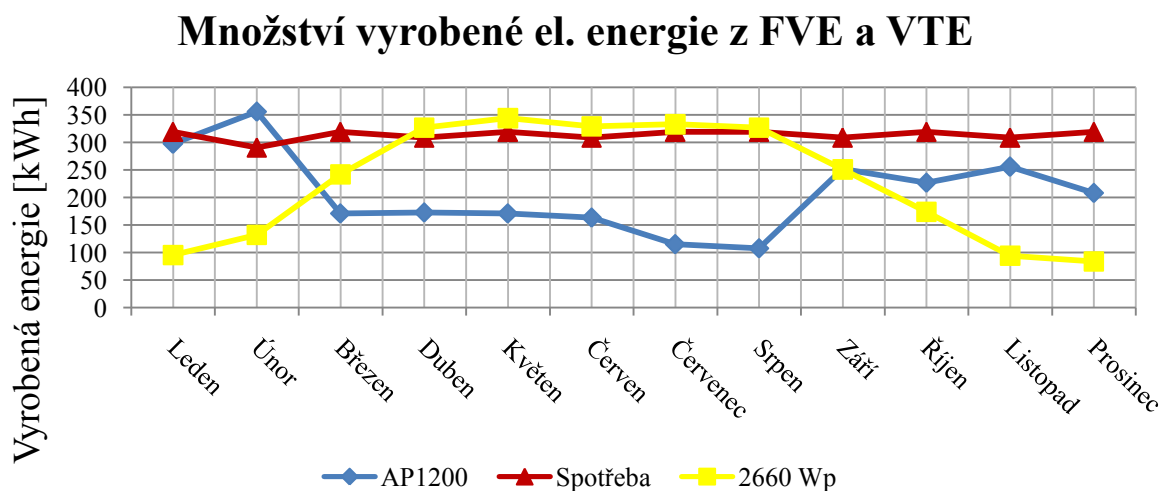


Obr.3.10. Teoretické množství vyrobené el. energie z VTE AP1200 a AP2500

### 3.6. Celkový návrh zdroje el. energie pro rodinný dům

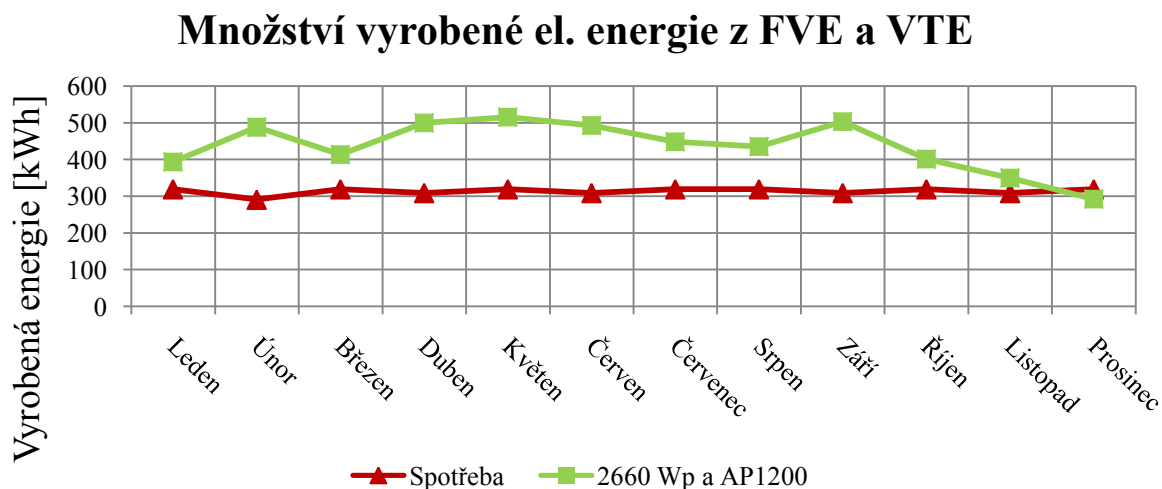
S ohledem na místo, kde by se měl celý systém instalovat, bylo rozhodnuto zahrnout první variantu, tedy jen FVE velkého výkonu. Jelikož by bylo zapotřebí v zimních měsících dodávat značné množství el. energie z elektrocentrály, což by bylo značně nerentabilní.

Proto zde bude popsán jen hybridním systémem využívající jak FVE tak VTE. Jelikož rozdíl mezi vyrobeným množstvím el. energie mezi VTE není velký. Byla vybrána méně výkonná VTE AP1200 kdy oproti výkonnější variantě ušetříme necelých 20 000 Kč.



Obr.3.11. Teoretické množství vyrobené el. energie z FVE a VTE pro každý zdroj zvlášť

V grafu (obr.3.12.) můžete vidět součet vyrobené el. energie jak z FVE tak z VTE. Z grafu je patrné, že FVE o výkonu 2660 Wp se ideálně doplňuje s VTE o výkonu 1200 W a tvoří ideální zdroj energie pro celoroční provoz. Podle teoretických výpočtů, by nemělo docházet k nedostatku el. energie ani v zimních měsících.



Obr.3.12. Teoretický součet vyrobené el. energie z FVE a VTE

### 3.7. Výběr součástí pro ostrovní provoz (rodinný dům)

Z teoretického návrhu je patrné, že takto navržená energetická jednotka pro ostrovní provoz splňuje podmínku samostatnosti a není potřeba využívat rozvodné sítě. S ohledem na komfort a do budoucna zvyšujících se nároků na množství potřebné el. energie bude systém doplněn o elektrocentrálu značky briggs&stratton s automatickým startem.

Jako jeden ze zdrojů el. energie bude použita FVE o instalovaném výkonu 2660 Wp, kdy bude použito 14 kusů panelů IBC MonoSol 190Wp/24V, které budou v sérioparalelním zapojení. Dalším zdrojem el. energie bude malá VTE AP 1200 českého výrobce AERPLAST s.r.o. Tato VTE bude umístěna na kotveném samostatně stojícím trubkovém stožáru o výšce 15 m. V technické místnosti, která je umístěna v suterénu domu se budou nacházet zbylé součásti systému. Pro nabíjení akumulátorů byl vybrán MPPT měnič BlueSolar150/70 s účinností 98 %. S ohledem na značné investice bylo uvažováno o dvou typech akumulátorů. První typ bude LiFePO<sub>4</sub> akumulátor s životností 3000 cyklů při využitelné kapacitě 80 %. Druhým bude olověný akumulátor OPzS s životností 1300 cyklů při využitelné kapacitě 80 %. Pro přeměnu stejnosměrného napětí na střídavé byl vybrán měnič napětí SINUS Victron Energy Phoenix 5000VA. Jako doplňkový zdroj el. energie při špatných meteorologických podmínkách nebo při krátkodobém použití spotřebiče s vysokým příkonem (svařovací transformátor, míchačka,...) bude použita elektrocentrála s automatickým startem briggs&stratton PRO MAX 6000EA s jmenovitým výkonem 4800 W.

#### Použité FV moduly

Tab. 3.3. Parametry FVP

Typ panelu	IBC MonoSol 190Wp/24V	
Cena jednoho panelu	5 500 Kč	
Cena 14 panelů	77 000 Kč	
Jmenovitý výkon	190 Wp	
Tolerance výkonu	0/+5 Wp	
Účinnost modulu	14,9 %	
Parametry		
Napětí v MPP	U <sub>MPP</sub>	36,6 V
Proud v MPP	I <sub>MPP</sub>	5,16 A
Napětí naprázdno	U <sub>OC STC</sub>	45,2 V
Zkratový proud	I <sub>SC STC</sub>	5,56 A
Max. systémové napětí	1000 V	
Typ článku	monokrystalický křemíkový článek	
Rozměry		
Šířka		808 mm
Výška		1580 mm
Hloubka		45mm
Hmotnost		15,5 kg
Připojení	Kabely s průřezem 16 mm <sup>2</sup>	

Na střeše bude použito 14 panelů s celkovým instalovaným výkonem 2660 Wp. Všechny 14 panelů bude umístěno na jižní straně střechy. Sedm paralelně spojených řetězců budou přes střídač napojeny na jednu fázi.

**Výpočet parametrů generátoru**

$$U_{0CSTC} = n \cdot U_{STC} = 2 \cdot 45,2 = 90,4 \text{ V} \quad (3.14.)$$

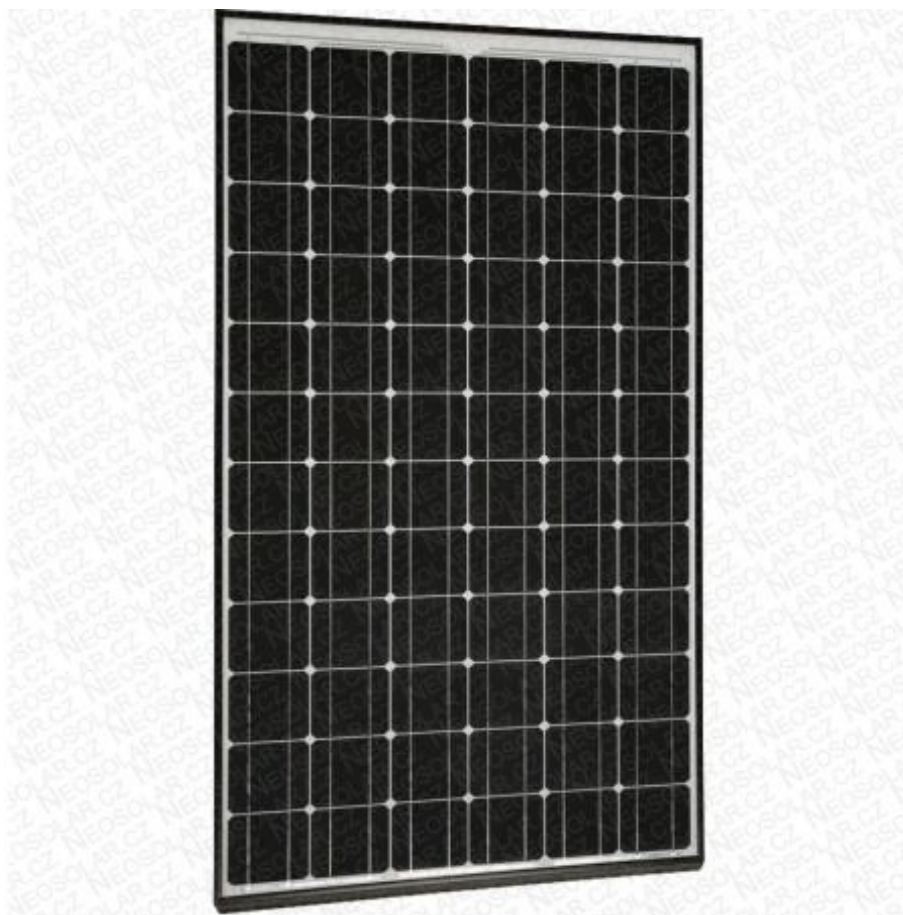
$$I_{GEN} = p \cdot I_{STC} = 7 \cdot 5,56 = 38,92 \text{ A} \quad (3.15.)$$

n – počet modulů v řetězci

p – počet řetězců

$U_{0CSTC}$  - napětí řetězce naprázdno při STC (standardní testovací podmínky)

$I_{GEN}$  - proud nakrátko dvou paralelně spojených řetězců při STC (standardní testovací podmínky)



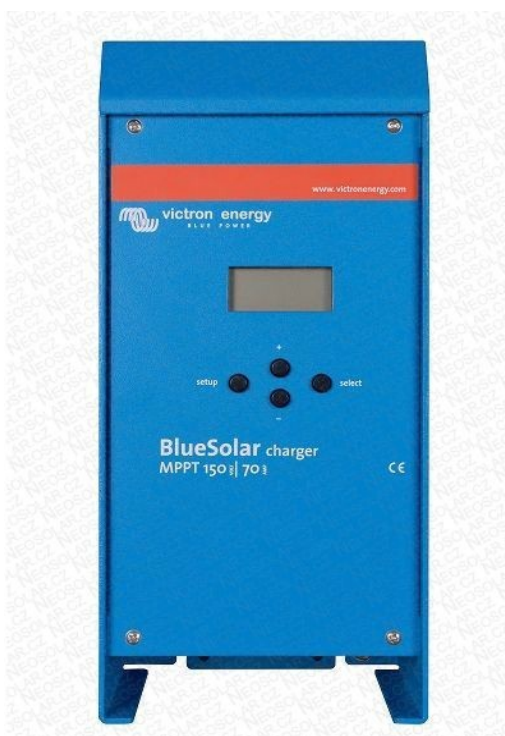
Obr.3.13. FVP IBC MonoSol 190Wp/24V [18]



## Použitý MPPT měnič

Tab. 3.4. Parametry MPPT měniče

Typ	MPPT BlueSolar 150/70
Cena	19 820 Kč
<b>Parametry</b>	
Jmenovité napětí baterie	12 / 24 / 36 / 48 V automatické rozpoznávání
Podporované typy akumulátorů	kapalinové, AGM, GEL, OPzV, OPzS, PzS, LiFePo4
Maximální příkon solárních panelů	12V:1000W / 24V:2000W / 36V:3000W / 48V:4000W
Jmenovitý nabíjecí výkon	70A při 40°C (104°F)
Maximální napětí na prázdko	150 V
Spotřeba energie v režimu Standby	12V:0,55W / 24V:0,75W / 36V:0,90W / 48V:1,00W
Účinnost při plné zátěži	12V:95% / 24V:96,5% / 36V:97% / 48V:97,5%
Vzdálený senzor teploty baterie	Ano
Chlazení	Vzduchem
Maximální průřez vodiče	35 mm <sup>2</sup>
Krytí	IP 20
<b>Rozměry</b>	
Šířka	160 mm
Výška	350 mm
Hloubka	135 mm
Hmotnost	4,2 kg
Použití	Vnitřní



Obr.3.14. MPPT měniče BlueSolar 150/70[18]

**Použitá VTE**

Tab. 3.5. Parametry VTE

<b>Typ</b>	<b>AP 1200</b>
Cena	49 000 Kč
<b>Parametry</b>	
Jmenovitý výkon	1200 / 1500 W
Jmenovitá rychlost větru	10 m/s
Rozběhová rychlost	3 m/s
Maximální rychlost větru	50 m/s
Průměr rotoru	3,2 m
Plocha rotoru	8,0 m <sup>2</sup>
Maximální rychlost rotoru	450 n/min
Výstupní napětí	48 V DC
Systém ochrany	vytočení
Hmotnost	40 kg



Obr.3.15. VTE AP1200 [29]

**OpZS akumulátor**

Tab. 3.6. Parametry OpZS akumulátorů

Typ	Hoppecke OPzS 12V – 200 Ah
Cena jednoho kusu	16 875 Kč
Cena 16 kusů	270 000 Kč
<b>Parametry</b>	
Kapacita	200 Ah
Jmenovité napětí	12 V
Cyklická životnost při 80 % DoD	1300 cyklů
<b>Rozměry</b>	
Šířka	380 mm
Výška	383 mm
Hloubka	205 mm
Hmotnost	67 kg



Obr.3.16. Hoppecke OPzS 12V – 200 Ah [18]

**LiFePO<sub>4</sub> akumulátor**Tab. 3.7. Parametry LiFePO<sub>4</sub> akumulátorů

Typ	LFP400AHA
Cena jednoho kusu	12 500 Kč
Cena 30 kusů	390 000 Kč
<b>Parametry</b>	
Jmenovité napětí naprázdno (V)	3.2
Kapacita (Ah)	400
Pracovní napětí (V)	max 4.0 min 2.8
Minimální napětí (V)	2.5 po překročení hodnoty hrozí nevratné poškození
Maximální napětí (V)	4.2 po překročení hodnoty hrozí nevratné poškození
Cyklická životnost při 80 % DoD	3000 cyklů
<b>Rozměry</b>	
Délka (mm)	461
Výška (mm)	285
Šířka (mm)	64
Hmotnost	13.7 kg



Obr.3.17. LFP400AHA

## Použitý střídač

Tab. 3.8. Parametry střídače

Typ	SINUS Victron Energy Phoenix 5000VA
Cena	70 000 Kč
<b>Parametry</b>	
Trvalý výkon	5 000 VA
Špičkový činný výkon	10 000 W
Výstupní napětí	230 V $\pm$ 2%
Výstupní frekvence	50 Hz $\pm$ 0,1 %
Maximální účinnost	95 %
Spotřeba při nulové zátěži	25 W
Krytí	IP 21
Rozmezí teplot pro použití	-40°C – 50°C
<b>Rozměry</b>	
Šířka	328 mm
Výška	444 mm
Hloubka	240 mm
Hmotnost	30 kg



Obr.3.18. Střídač SINUS Victron Energy Phoenix 5000VA [18]



## Použitá elektrocentrála

Tab. 3.9. Parametry elektrocentrály

Typ	Briggs&Stratton PRO MAX 6000EA
Cena	65 000 Kč
<b>Parametry</b>	
Zdánlivý jmenovitý výkon	6 000 VA
Činný jmenovitý výkon	4 800 W
Výstupní napětí	230 V
Maximální výstupní proud	20,9 A
Regulace napětí	automatická
Startování	ruční + elektrické
Chlazení	vzduchem
Objem nádrže	15 l
Spotřeba paliva	1,5 l
Hlučnost	72 dB
<b>Rozměry</b>	
Výška	600 mm
Šířka	550 mm
délka	750 mm
Hmotnost	90 kg



Obr.3.19. Elektrocentrála Briggs&Stratton PRO MAX 6000EA [13]

### Celkové investiční náklady hybridního systému pro rodinný dům

Tab. 3.10. Celkové investiční náklady pro rodinný dům

	Počet kusů	Typ	Cena
FVP	14	IBC MonoSol 190Wp/24V	77 000 Kč
MPPT měnič	1	MPPT BlueSolar 150/70	19 820 Kč
VTE	1	AP1200	49 000 Kč
Regulátor nabíjení	1	AEROPLAST	12 500 Kč
Trubkový stožár 15 m	1		38 000 Kč
Akumulátor	16	Hoppecke OPzS 12V – 200 Ah	270 000 Kč
Akumulátor	30	LiFePO <sub>4</sub> 3.2 V – 400Ah	390 000 Kč
Měnič napětí	1	SINUS Victron Energy Phoenix 5000VA	70 000 Kč
Elektrocentrála	1	briggs&strattonPRO MAX 6000EA	65 000 Kč
Vzdálené sledování	1	Victron Ethernet Remote	15 000 Kč
Odpojovač spotřebičů	1	Ochrana baterií BP-60i	3 500 Kč
Solární kabel + konektory			5000 Kč
Montáž + konstrukce			15 000 Kč
<b>Konečná cena</b>	<b>Varianta s OPzS akumulátory</b>		<b>639 820 Kč</b>
<b>Konečná cena</b>	<b>Varianta s LiFePO<sub>4</sub> akumulátory</b>		<b>759 820 Kč</b>

## 4. Vlastní návrh energetické jednotky (chata)

Pro druhou variantu návrhu ostrovního systému byla vybrána nově postavená chata, která leží nedaleko našeho rodinného domu. Chata je využívána starším rodinným párem. Objekt je situován v Moravskoslezském kraji přesněji v Mostech u Jablunkova (49°32'7.546"N, 18°45'51.916"E) ve vzdálenosti 550 m od distribuční sítě.

Hlavním požadavkem majitele byl dostatek el. energie během jejich návštěv a využívání přebytečné vyrobené el. energie k napájení dvou čerpadel, které využívá k okysličování vody v jezírku. Popřípadě k ohřevu vody v bojleru.

Hlavní nevýhodou tohoto objektu je střecha situována na východ, kdy si majitel z estetických důvodů nepřeje naklánět ani jinak manipulovat s FVP. Proto se při návrhu bude počítat s takovým to uložením panelů.

Jelikož, se vlastní návrh nebude lišit od návrhu, který je popsán v bodě 3 pro rodinný dům, nebude zde uvedena teorie k výpočtům, pokud to nebude nutné.

### 4.1. Spotřeba el. energie

S ohledem na elektrické přístroje, které majitelé v chatě využívají a na četnost jejich použití byla vypočítána maximální denní spotřeba el. energie 2,5 kW·h.

Spotřeba energie za 24 h:

$$A_{d24} = 2,5 \text{ kW} \cdot h \quad (4.1.)$$

Spotřeba energie za 3 dny:

$$A_{d72} = A_{d24} \cdot 3 = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ kW} \cdot h \quad (4.2.)$$

Maximální příkon:

$$P_{max} = 1,5 \text{ kW}$$

### 4.2. Ztráty v ostrovním systému

Tento bod se bude zabývat výpočtem ztrát v celém systému, které jsou důležité pro správné nadimenzování systému. Jelikož bude místo klasického solárního regulátoru použit MPPT měnič budu počítat s ním.

#### Ztráty v MPPT měniči

Účinnost MPPT měniče:  $\eta_{MPPT} = 95 \%$

Spotřeba se ztrátami v MPPT měniči:



$$A = \frac{A_{d24}}{\eta_{MPPT}} = \frac{2500}{0,95} = 2631 \text{ W} \cdot h \quad (4.3.)$$

#### Ztráty v kabelech, svorkách, konektorech

Účinnost je tedy:  $\eta_{kabel} = 97 \%$

Spotřeba se ztrátami v kabeláži, svorkách a konektorech

$$A = \frac{A}{\eta_{kabel}} = \frac{2631}{0,97} = 2713 \text{ W} \cdot h \quad (4.4.)$$

#### Ztráty při akumulaci el. energie

Účinnost nabíjení je tedy:  $\eta_{nab.} = 90 \%$

$$A = \frac{A}{\eta_{nab.}} = \frac{2713}{0,90} = 3015 \text{ W} \cdot h \quad (4.5.)$$

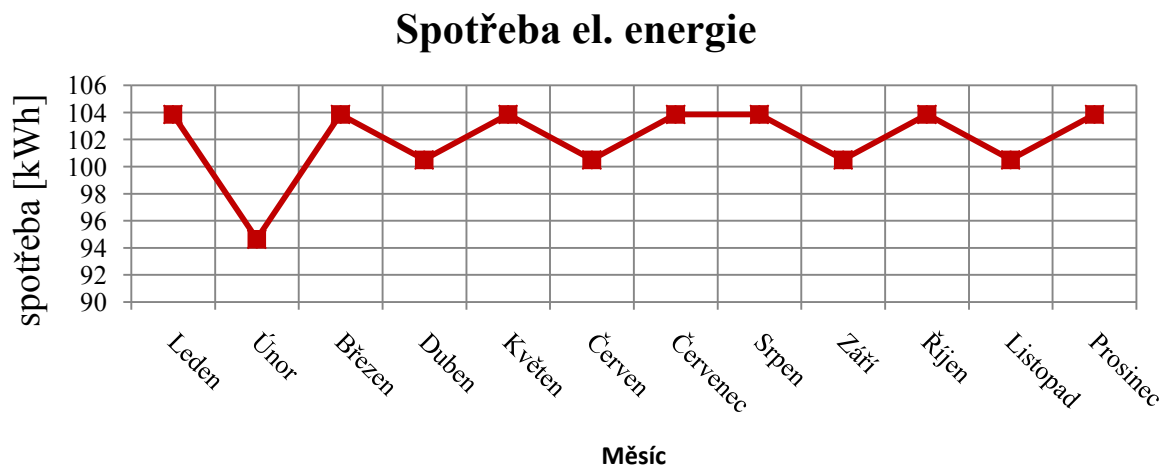
#### Ztráty v měniči napětí

Účinnost měniče je tedy:  $\eta_{menic} = 90 \%$

$$A = \frac{A}{\eta_{menic}} = \frac{3015}{0,90} = 3350 \text{ W} \cdot h \quad (4.6.)$$

#### Měsíční spotřeba el. energie s uvažováním ztrát

$$E_z = A \cdot \text{počet dní} = 3350 \cdot 31 = 103,85 \text{ kW} \cdot h \quad (4.7.)$$



Obr.4.1. Graf teoretické měsíční spotřeby el. energie se započítáním ztrát v systému

### 4.3. Dimenzování akumulátorů

Po dohodě s investorem byla zvolena 2 denní záloha el. energie v akumulátorech. Pokud v tomto období budou nevyhovující meteorologické podmínky, bude použita elektrocentrála. Byl vybrán akumulátor s využitelnou kapacitou 80 % a systémovým napětím 24 V.

Kapacita akumulátorů pro 24 V:

$$C_B = \frac{(E_z \cdot n)}{(V_B \cdot DOD_{\max})} = \frac{(3350 \cdot 2)}{(24 \cdot 0,8)} = 350 \text{ A} \cdot \text{h} \quad (4.8.)$$

$C_B$  – kapacita akumulátorů

$E_z$  – energie spotřebovaná zátěží

$n$  – počet dní bez dobíjení

$V_B$  – napětí akumulátorů

$DOD_{\max}$  – dovolená hloubka vybití akumulátoru

[14]

### 4.4. Dimenzování FVP

Jelikož je chata využívána celoročně, bude i FVE dimenzována na tento provoz. Hlavní nevýhodou této chaty je poloha střechy, která je směřována přesně na východ. A proto nebude možno využít plného potenciálu FVE.

Pro představu, jaké množství el. energie je schopný vyprodukovat FVP o výkonu 100 Wp při azimuthu -90° pro danou lokalitu denně, v jednotlivých měsících roku, doporučuji nahlédnout do následující tabulky:

Tab.4.1. Energie vyrobená z fotovoltaického panelu o výkonu 100 Wp a odklonění od jihu o 90°.

měsíc	Energie vyrobená za den [kWh]	Energie vyrobená za měsíc [kWh]
leden	0.07	2,50
únor	0.12	3,32
březen	0.22	6,71
duben	0.34	10,10
květen	0.38	11,70
červen	0.39	11,60
červenec	0.37	11,60
srpen	0.34	10,50
září	0.25	7,38
říjen	0.14	4,49
listopad	0.07	2,13
prosinec	0.06	1,95
roční průměr [kWh]	0.07	2,50
celkem za rok [kWh]	83,5	

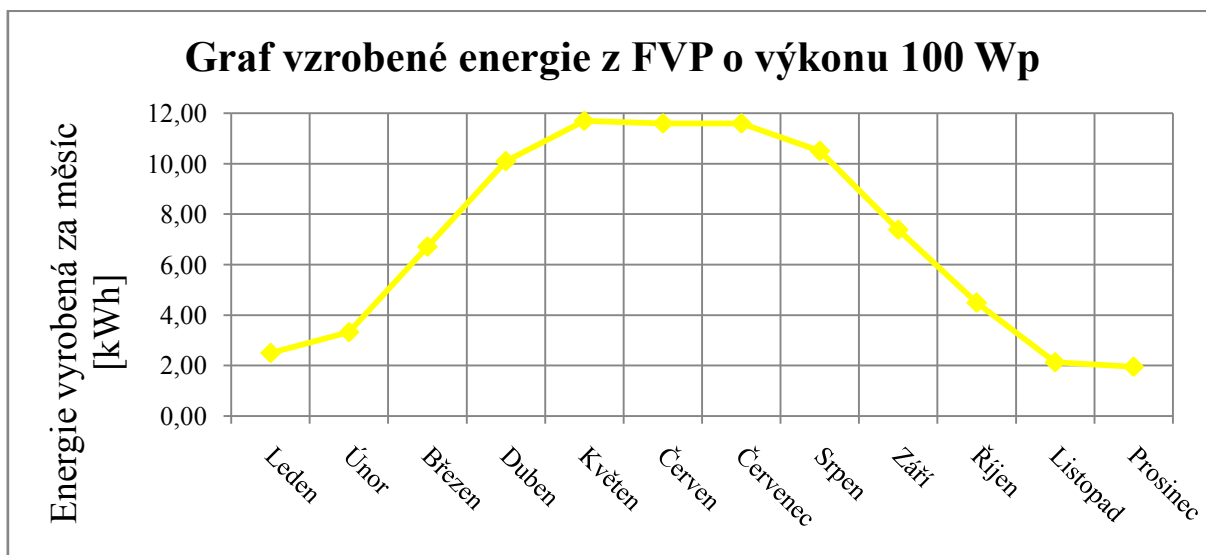
Země: Česká republika

Město: Mosty u Jablunkova

Fotovoltaický panel - výkon: 100Wp (0,1kWp)

Orientace panelů: východ

Sklon panelů: 35°



Obr.4.2. Graf teoretické vyrobené el. energie z FVP o výkonu 100 Wp při azimuthu 90°

#### 4.4.1. Teoretický návrh hybridního systému pro chatu s celoročním provozem

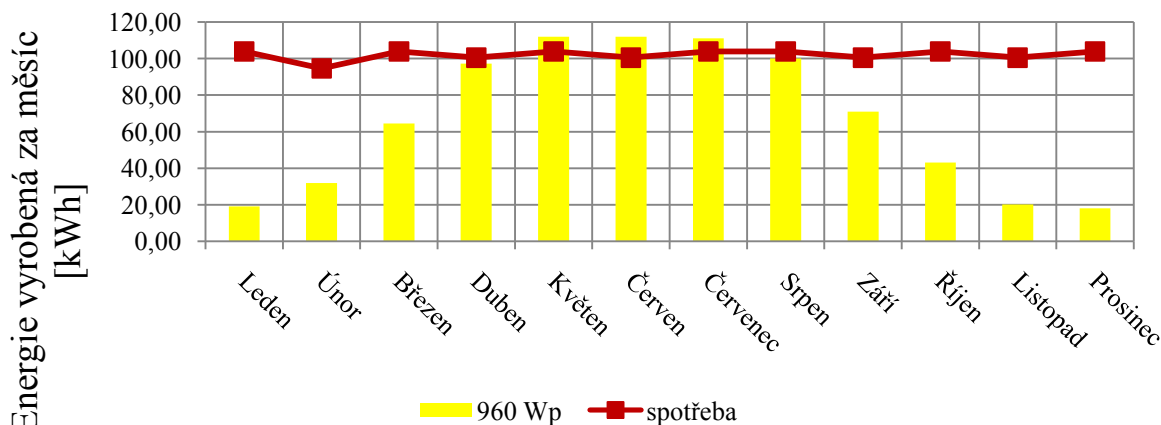
Při vlastním návrhu FVE, který bude doplněn o VTE byl zvolen kompromis mezi výkonem FVE a VTE. Jelikož se chata nachází ve větrné lokalitě, není zapotřebí tak výkonná FVE. Proto byl z tabulky 4.1. vybrán červenec, i když to není měsíc s nejnižším množstvím vyrobené el. energie, ale za daných podmínek je tento výkon dostačující.

Ze stanoveného koeficientu pro červenec vypočítáme potřebný výkon FVE za předpokladu použití MPPT měniče.

$$P = \frac{E_z}{E_d} = \frac{3350}{3,7} = 905 \text{ Wp} \quad (4.9.)$$

S ohledem na zhoršování parametrů FVP vlivem byl systém předimenzován na instalovaný výkon 960 Wp.

### Graf vyrobené energie z FVP o výkonu 960 Wp



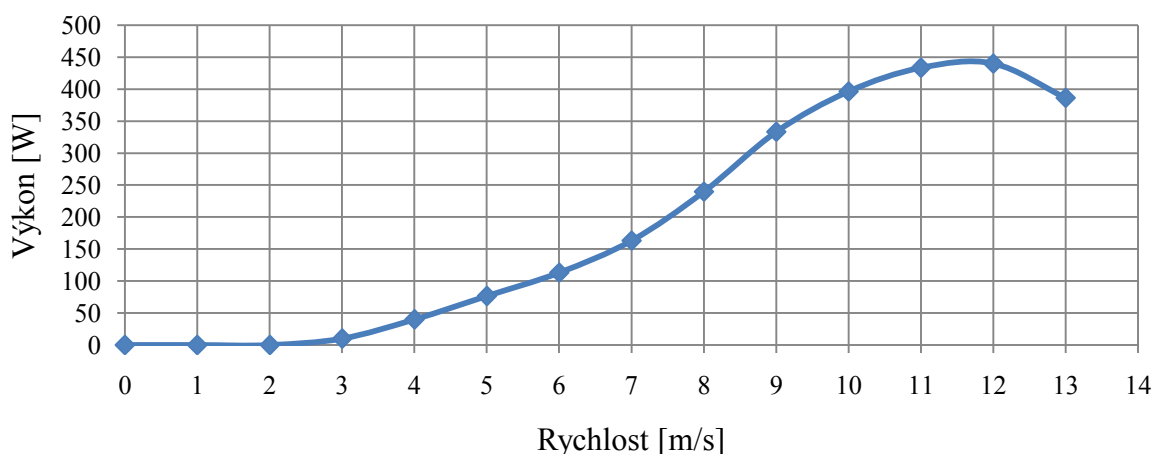
Obr.4.3. Graf teoretického množství vyrobené el. energie z FVE o výkonu 960 Wp

## 4.5. Dimenzování VTE

S ohledem na polohu kde bude VTE instalována, která je nedaleko ski areálu, ve kterém bylo měření rychlosti větru provedeno. Bude se i zde postupovat při výpočtu stejně jak v bodě 3.5., graf průměrné rychlost v dané lokalitě je na (obr. 3.7.).

S ohledem na menší energetické nároky byla vybrána VTE o výkonu 400 W stejného výrobce AERPLAST s.r.o. v grafu (obr. 4.4) můžete vidět výkonovou křivku VTE AP400.

### Výkonová charakteristika AP400



Obr.5.4. Výkonová charakteristika VTE AP400

Při vlastním návrhu byl z výkonových charakteristik pro průměrné rychlosti větru pro dané měsíce odečten výkon VTE. Následně dopočítán výkon VTE pro celé měsíce. Průměrné vypočtené výkony pro dané měsíce můžete vidět v tab.4.2. a následně v grafu (obr. 4.5.).

$$P_{VTE} = P_{odečtený} \cdot n = 133 \cdot 744 = 99,6 \text{ kW} \cdot h \quad (4.10.)$$

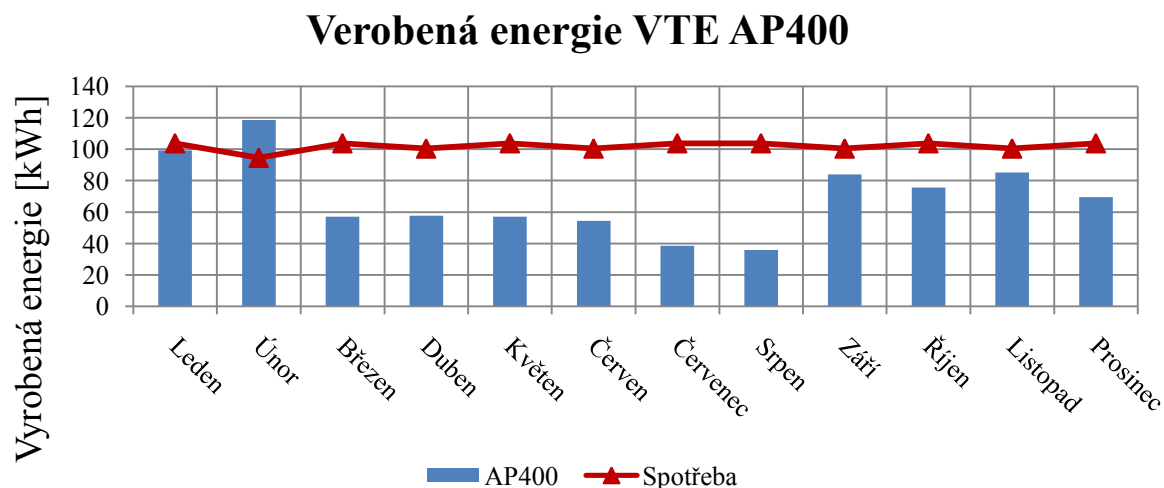
$P_{VTE}$  - výkon VTE

$P_{odečtený}$  - odečtený výkon z výkonové charakteristiky

$n$  - počet hodin v měsíci

Tab.4.2. Teoretické množství vyrobené el. energie z VTE AP400

Měsíc	Průměrná rychlost větru	Teoretická měsíční výroba
[-]	[m/s]	[kWh]
		<b>AP400</b>
Leden	6,33	99,6
Únor	7,20	118,65
Březen	4,96	57,04
Duben	5,09	57,6
Květen	5,00	57,04
Červen	4,93	54,48
Červenec	4,38	38,44
Srpen	4,33	35,96
Září	6,08	84
Říjen	5,77	75,64
Listopad	6,12	85,2
Prosinec	5,47	69,44

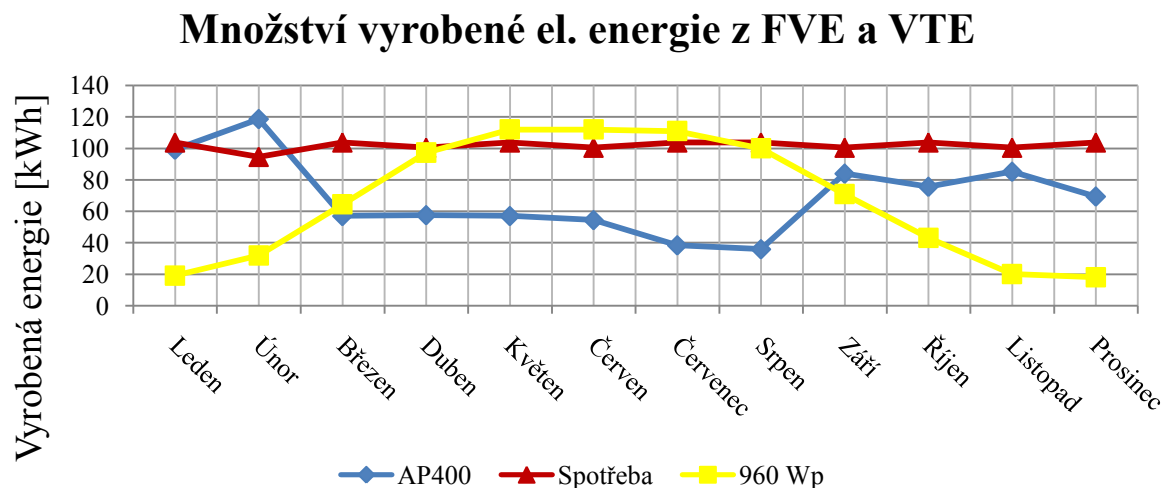


Obr.4.5. Teoretické množství vyrobené el. energie z VTE AP400

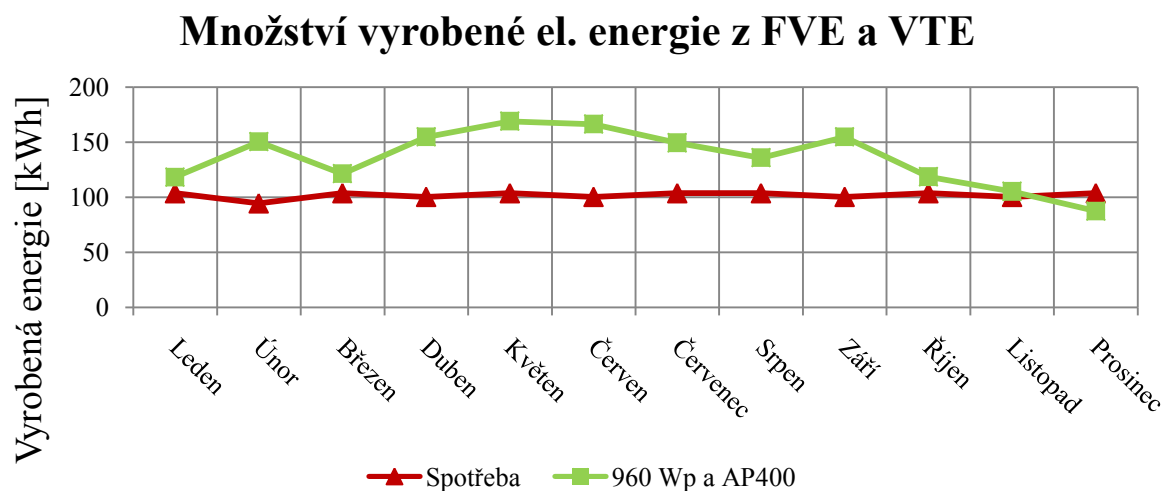
#### 4.6. Celkový návrh zdroje el. energie pro chatu

Návrh tohoto systému byl inspirován návrhem pro rodinný dům, který je popsán výše. I v tomto případě bude docházet k nedostatkům vyrobené el. energie v zimních měsících. S ohledem na to, že i zde bude použita elektrocentrála s automatickým, nebyly shledány sebemenší problémy. V grafu

(obr.5.6.) je vidět, jakým množstvím el. energie přispívá FVE a VTE v daných měsících zvlášť. Z grafu je patrné, že FVE o výkonu 960 Wp se ideálně doplňuje s VTE o výkonu 400 W a tvoří ideální zdroj energie pro celoroční provoz.



Obr.4.6. Teoretické množství vyrobené el. energie pro každý zdroj zvlášť



Obr.4.7. Celkové teoretické množství vyrobené el. energie

#### 4.7. Výběr součástí pro ostrovní provoz (chata)

Z teoretického návrhu energetické jednotky pro chatu je patrné, že takto navržený systém je energeticky soběstačný a není potřeba využívat rozvodné sítě. S ohledem na komfort a do budoucna zvyšujících se nároků na množství potřebné el. energie bude systém doplněn o elektrocentrálu značky briggs&stratton s automatickým startem.

Jako zdroj el. energie budou v tomto případě použity polykrystalické FVP, jelikož nejsou nakloněny přímo proti slunci a pro tento případ jsou schopny dodat největší množství el. energie s nejvýhodnějším distribučním rozložením v průběhu celého roku. Bude použita FVE o instalovaném výkonu 960 Wp, kdy bude použito 4 kusů FVP IBC PolySol 240 Wp / 24V. Dalším ne méně důležitým zdrojem bude VTE o výkonu 400 W českého výrobce AERPLAST s.r.o. VTE AP400 bude umístěna na kotveném samostatně stojícím trubkovém stožáru o výšce 15 m. Vyrobená el. energie se bude akumulovat v LiFePO<sub>4</sub> akumulátorech s kapacitou 360 A · h a systémovým napětím 24 V. Tyto akumulátory by měly dosahovat životnosti až 3000 cyklů při využitelné kapacitě 80 %. Akumulátory budou dobíjeny MPPT měničem BlueSolar regulátor 40 A 12V/24V s vysokou účinností dobíjení. Pro přeměnu stejnosměrného napětí na střídavé bude použit měnič napětí SINUS Victron Energy Phoenix C 2000 VA 24V. Jako doplňkový zdroj el. energie při špatných meteorologických podmínkách nebo při krátkodobém použití spotřebiče s vysokým příkonem (svařovací transformátor, míchačka,...) bude použita elektrocentrála s automatickým startem briggs&stratton ProMax 3500EA s jmenovitým výkonem 2700 W.

#### Použité FV moduly

Tab.4.3. Parametry FVP

Typ panelu	IBC PolySol 240Wp/24V	
Cena jednoho panelu	5 500 Kč	
Cena 14 panelů	22 000 Kč	
Jmenovitý výkon	240 Wp	
Tolerance výkonu	0/+5 Wp	
Účinnost modulu	14,7 %	
Parametry		
Napětí v MPP	U <sub>MPP</sub>	30,0V
Proud v MPP	I <sub>MPP</sub>	8,01 A
Napětí naprázdno	U <sub>OC STC</sub>	37,2 V
Zkratový proud	I <sub>SC STC</sub>	8,56 A
Max. systémové napětí		1000 V
Typ článku	polykrystalický křemíkový článek	
Rozměry		
Šířka		992 mm
Výška		1640 mm
Hloubka		45mm
Hmotnost		16 kg
Připojení	Kabely s průřezem 25 mm <sup>2</sup>	

Na střeše budou instalovány 4 panely s celkovým instalovaným výkonem 960 Wp. Všechny 4 panely budou umístěny na východní straně střechy. Čtyři paralelně spojené FVP budou přes střídač napojeny na jednu fázi.

**Výpočet parametrů generátoru**

$$U_{0CSTC} = n \cdot U_{STC} = 1 \cdot 37,2 = 37,2 \text{ V} \quad (4.11.)$$

$$I_{GEN} = p \cdot I_{STC} = 4 \cdot 8,56 = 34,24 \text{ A} \quad (4.12.)$$

n – počet modulů v řetězci

p – počet řetězců

$U_{0CSTC}$  - napětí řetězce naprázdno při STC (standardní testovací podmínky)

$I_{GEN}$  - proud nakrátko dvou paralelně spojených řetězců při STC (standardní testovací podmínky)



Obr.4.8. IBC PolySol 240Wp/24V [18]



### Použitý MPPT měnič

Tab.4.4. Parametry MPPT měniče

Typ	BlueSolar regulátor 40A 12V/24V
Cena	7 150 Kč
<b>Parametry</b>	
Jmenovité napětí baterie	12 / 24 V automatické rozpoznávání
Podporované typy akumulátorů	kapalinové, AGM, GEL, OPzV, OPzS, PzS, LiFePo4
Maximální příkon solárních panelů	1040 Wp
Maximální napětí na prázdko	55 V
Spotřeba energie v režimu Standby	≤10 mA
Účinnost při plné zátěži	97%
Vzdálený senzor teploty baterie	Ano
Chlazení	Vzduchem
Krytí	IP 20
<b>Rozměry</b>	
Šířka	140 mm
Výška	202 mm
Hloubka	60 mm
Hmotnost	1,4 kg
Použití	Vnitřní



Obr.4.9. MPPT měnič BlueSolar 40A 12V/24V [18]

**Použitá VTE**

Tab.4.5. Parametry VTE

<b>Typ</b>	<b>AP 400</b>
Cena	20 000 Kč
<b>Parametry</b>	
Jmenovitý výkon	1200 / 1500 W
Jmenovitá rychlost větru	11 m/s
Rozběhová rychlost	3 m/s
Maximální rychlost větru	40 m/s
Průměr rotoru	1,5 m
Plocha rotoru	1,76 m <sup>2</sup>
Maximální rychlost rotoru	600 n/min
Výstupní napětí	24 V DC
Systém ochrany	stop vypínač
Hmotnost	11 kg



Obr.4.10. VTE AP400 [29]

**LiFePO<sub>4</sub> akumulátor**Tab.4.6. Parametry LiFePO<sub>4</sub> akumulátorů

<b>Typ</b>	<b>LP12V90AH</b>
Cena jednoho kusu	10 300 Kč
Cena 30 kusů	82 400 Kč
<b>Parametry</b>	
Jmenovité napětí naprázdno	12 V
Kapacita	90 Ah
Pracovní napětí	max. 16 V min. 11V
Minimální napětí	10 V po překročení hodnoty hrozí nevratné poškození
Maximální napětí	17 V po překročení hodnoty hrozí nevratné poškození
Cyklická životnost při 80 % DoD	3000 cyklů
<b>Rozměry</b>	
Délka (mm)	283
Výška (mm)	248
Šířka (mm)	155
Hmotnost	15 kg

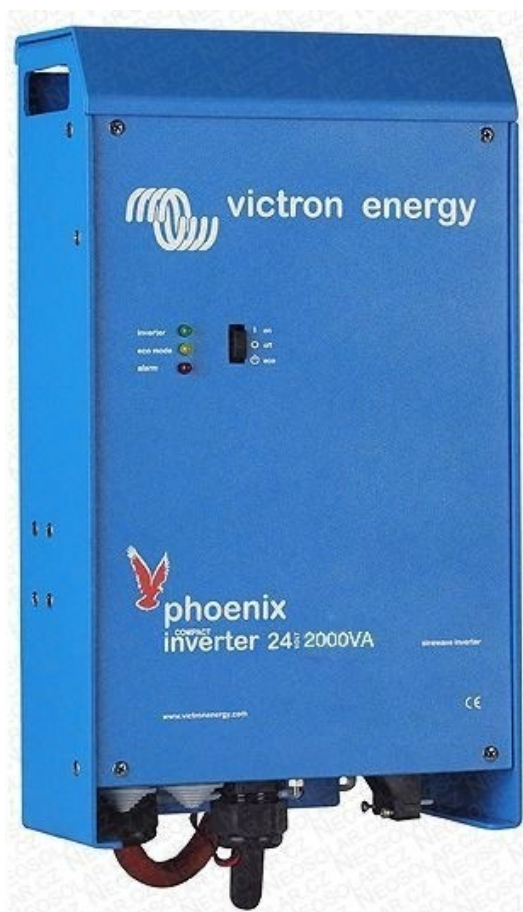


Obr.4.11. LP12V90AH

## Použitý střídač

Tab.4.7. Parametry střídače

Typ	SINUS Victron Energy Phoenix C 2000VA 24V
Cena	27 000 Kč
<b>Parametry</b>	
Trvalý výkon	2 000 VA
Špičkový činný výkon	4 000 W
Výstupní napětí	230 V $\pm$ 2%
Výstupní frekvence	50 Hz $\pm$ 0,1 %
Maximální účinnost	92 %
Spotřeba při nulové zátěži	4 W
Krytí	IP 21
Rozmezí teplot pro použití	-40°C – 50°C
<b>Rozměry</b>	
Šířka	255 mm
Výška	520 mm
Hloubka	120 mm
Hmotnost	12 kg



Obr.4.12. Střídač SINUS Victron Energy Phoenix C 2000VA[18]

## Použitá elektrocentrála

Tab.4.8. Parametry elektrocentrály

Typ	Briggs&Stratton PRO MAX 3500EA
Cena	50 000 Kč
<b>Parametry</b>	
Zdánlivý jmenovitý výkon	3 400 VA
Činný jmenovitý výkon	2 700 W
Výstupní napětí	230 V
Maximální výstupní proud	11,6 A
Regulace napětí	automatická
Startování	ruční + elektrické
Chlazení	vzduchem
Objem nádrže	15 l
Spotřeba paliva	1,5 l
Hlučnost	72 dB
<b>Rozměry</b>	
Výška	510 mm
Šířka	410 mm
délka	610 mm
Hmotnost	51 kg



Obr.4.13. Elektrocentrála Briggs&Stratton PRO MAX 3500EA [13]

## Celkové investiční náklady hybridního systému pro chatu

Tab.4.9. Celkové investiční náklady pro chatu

	Počet kusů	Typ	Cena
FVP	4	IBC PolySol 240Wp/24V	22 000 Kč
MPPT měnič	1	BlueSolar regulátor 40A 12V/24V	7 15 Kč
VTE	1	AP400	20 000 Kč
Regulátor nabíjení	1	AEROPLAST	7 000 Kč
Trubkový stožár 15 m	1		38 000 Kč
Akumulátor	8	LiFePO <sub>4</sub> 12 V – 90 Ah	82 400 Kč
Měnič napětí	1	SINUS Victron Energy Phoenix C 2000VA 24V	27 000 Kč
Elektrocentrála	1	briggs&strattonPRO MAX 3500EA	50 000 Kč
Vzdálené sledování	1	Victron Ethernet Remote	15 000 Kč
Odpojovač spotřebičů	1	Ochrana baterií BP-40i	2 200 Kč
Solární kabel + konektory			5000 Kč
Montáž + konstrukce			10 000 Kč
<b>Konečná cena</b>		<b>Varianta s LiFePO<sub>4</sub> akumulátory</b>	<b>285 750 Kč</b>

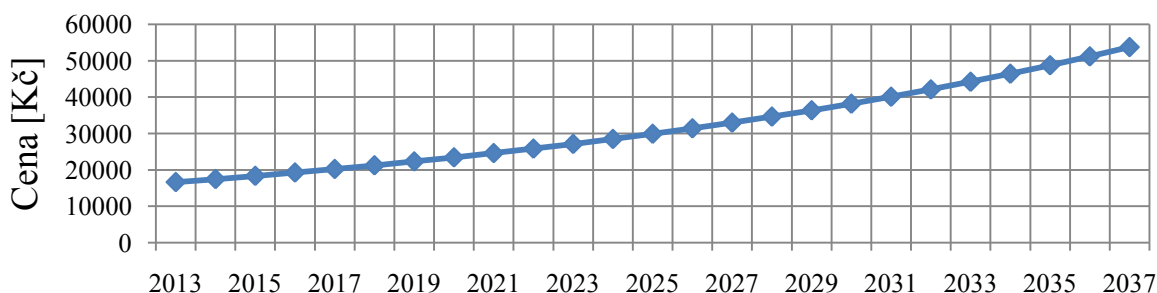
## 5. Finanční zhodnocení

V tomto bodě se budu zabývat návratností investic pro obě varianty. Tedy pro rodinný dům, který je momentálně připojen k rozvodné síti. A pro chatu, která je momentálně napájena z elektrocentrály jen v přítomnosti majitelů.

### 5.1. Varianta pro rodinný dům

Z celoročního vyúčtování za rok 2011 a 2012 naší domácnosti bylo zjištěno, že domácnost spotřebuje cca 3 MWh el. energie ročně, což se shoduje s výpočty. Meziroční nárůst cen činil za toto období 5 %. Pokud by tento trend zdražování pokračoval, náklady za stejné množství el. energie za 25 let by dosahovaly přibližně 54 000 Kč což lze vidět v grafu (obr.5.1.). Proto bude počítáno s návratností celého systému s takovýmto cenovým růstem.

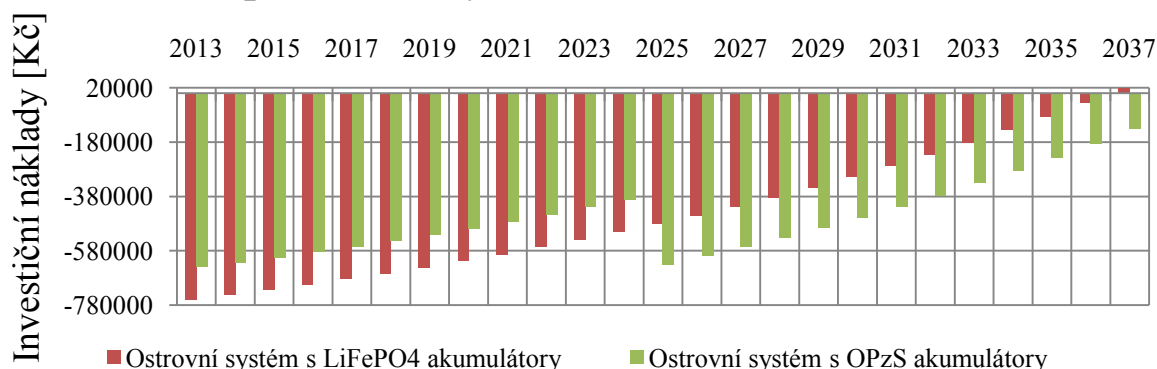
#### Předpokládaná platba za el. energii při 5 % ročním zdražování



Obr.5.1. Předpokládaný růst cen za el. energii pro náš rodinný dům

Při výpočtu cenové návratnosti celého systému bude počítáno s odhadovanou životností akumulátorů. Životnost LiFePO<sub>4</sub> článků by měla dosahovat až 25 let, což je předpokládaná životnost celého systému. Naopak u olověných akumulátorů se pohybuje životnost kolem 12 let a to i při použití kvalitního solárního akumulátoru. Proto bude v návratnosti počítáno s výměnou akumulátorů po této době. S ohledem na zdokonalování a vývoj nelze odhadnout, kam se dostanou ceny a parametry akumulátorů za 12 let, ale při výpočtu návratnosti ostrovního systému bude počítáno s cenou nynější.

### Srovnání návratnosti ostrovního systému, při použití různých druhů akumulátorů



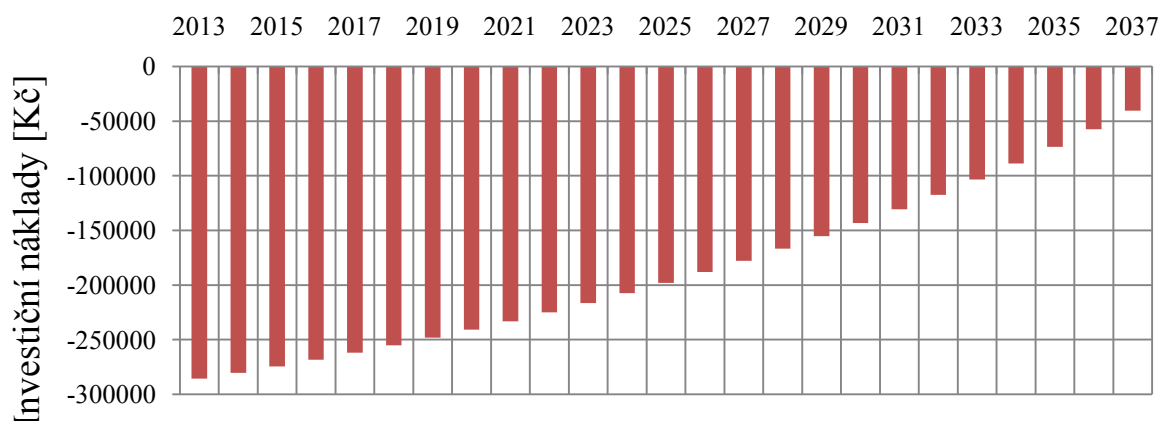
Obr.5.2. Předpokládaná návratnost systému pro rodinný dům připojený k rozvodné síti

Z grafu (obr.5.2.) je patrné, že olověné akumulátory nejsou úplně ideálním akumulačním médiem vlivem nedostatečné životnosti. Jelikož se musí po 12 letech vyměnit. Při výpočtu bylo počítáno s nejlepším možným případem, ale v reálných instalacích je tato životnost ještě menší. Proto bych doporučil LiFePO<sub>4</sub> akumulátory. I když jsou pořizovací náklady LiFePO<sub>4</sub> akumulátorů mnohem větší, v tomto případě o 44 %, vyplatí se.

## 5.2. Varianta pro chatu

Pokud by majitel chaty využíval ostrovní systém v plné míře. Spotřeboval by ročně cca 0,9 MWh el. Energie, což by při nynějších cenách znamenalo cca. 5 000 Kč. S ohledem na meziroční nárůst cen za el. energii, který je popsán v předcházejícím bodě. By za 25 let, což je předpokládaná životnost celého systému platil cca. 16 900 Kč. Za předpokladu, že by byl majitel momentálně připojen k rozvodné síti by se mu investiční náklady nevrátily, což můžete vidět v grafu (obr.5.3.)

### Srovnání návratnosti ostrovního systému

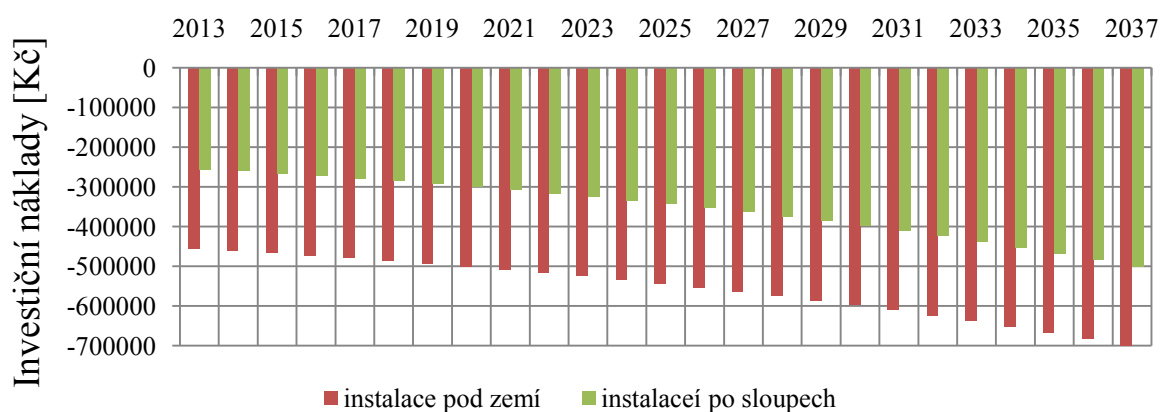


Obr.5.3. Předpokládaná návratnost pro chatku, pokud by byla připojená k rozvodné síti



Jelikož majitel této chaty k rozvodné síti připojen není. A jako zdroj el. energie využívá elektrocentrálu, což se mu zdá značně neekologické a neekonomické. Zvažoval 2 varianty, první variantou bylo přivést el. energii pod zemí. Druhou variantou bylo přivést el. energii po sloupech. První varianta by stála podle jeho informací cca 450 000 Kč a druhá 250 000 Kč. Tyto investice po napojení na rozvodnou síť by se nadále zvětšovaly s růstem cen energií což můžete vidět v grafu (obr.5.4.).

### Srovnání investic, při různém pokládání kabelu k napojení na rozvodnou



Obr.5.4. Celkové investiční náklady, při různém způsobu napojování k rozvodné síti

S ohledem na tyto investice, které by si vyžádaly dotažení inženýrských sítí k chatě, se investorovi vyplatí nechat instalovat ostrovní systém. Oproti první variantě, kdy by tahal kabely pod povrchem země, ušetří cca 164 250 Kč. Oproti variantě číslo 2 by byly jeho prvotní investiční náklady o cca 35 750 Kč vyšší. Po předpokládanou dobu životnosti, by nemusel vynaložit další náklady spojené s úhradou za spotřebovanou el. energii.

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout energetickou jednotku pro ostrovní provoz. Během zpracovávání této práce jsem zjistil, že ostrovní systémy jsou malý perspektivně se rozvíjejícím oborem. Ve kterém se na území ČR nepohybuje velké množství firem. Celá práce je rozdělená do dvou celků, v první teoretické části jsem se zabýval jednotlivými součástmi ostrovních systémů. Druhou část tvoří vlastní návrh, výpočet a finanční zhodnocení ostrovních systémů.

V teoretické části jsem se zaměřil na jednotlivé součásti systému. Vypsal jsem všechny dostupné a v dané lokalitě využitelné zdroje el. energie. U těchto zdrojů jsem popsal princip výroby el. energie, základní rozdělení, princip regulace jejich výhody a nevýhody. Dále zde jsou vypsány další části hybridního systému, jakož jsou regulátory nabíjení, akumulátory, odpojovače spotřebičů, podpůrné prostředky sledování a ovládání systému a měniče napětí.

S ohledem na klimatické podmínky a množství slunečních hodin na území ČR vycházejí nejlépe v porovnání s dalšími typy monokrystalické panely. Tyto panely jsou schopny dodat největší množství el. energie s nejvýhodnějším distribučním rozložením v průběhu celého roku. S ohledem na dostatek větru v dané lokalitě, jsem se rozhodl doplnit ostrovní systém o malou větrnou elektrárnu. Dále jsem zjistil, že je výhodnější použít sice dražší MPPT měnič místo klasického solárního regulátoru z několika důvodů. Díky mnohem větší účinnosti ( až 98 % ) oproti klasickému solárnímu regulátoru, není zapotřebí takové množství akumulované el. energie. Tudíž klesnou investiční náklady spojené s akumulací. Další nespornou výhodou novějších typů MPPT měničů je, že obsahují součásti sloužící k indikaci stavů akumulátorů. Zabýval jsem se i různými typy akumulátorů pro ostrovní systém. V tomto odvětví je patrný velký vzestup LiFePO<sub>4</sub> článků. Tyto články zažívají velký rozmach v automobilovém průmyslu díky vynikajícím parametrům ve srovnání s olověnými akumulátory. Z těchto důvodů očekávám postupné zlevňování a další zlepšování parametrů těchto článků. Další důležitou součástí systému je odpojovač spotřebičů, který slouží jako ochrana proti hlubokému vybití. Prostředky pro sledování a ovládání systému nejsou bezpodmínečně důležité, ale zvyšují komfort ovládání. V jedné z dalších podkapitol jsem se věnoval měničům napětí. Měniče napětí jsou jedny z nejdůležitějších součástí ostrovních systémů, jelikož převádějí stejnosměrné napětí na střídavé, které je potřebné k napájení velké části domovních spotřebičů. Pro menší ostrovní systémy, které nenapájí citlivou elektroniku, se dají použít i měniče napětí s modifikovanou sinusovkou. Naopak pro větší systémy a rodinné domy se hodí měniče se sinusovkou čistou.

V druhé části jsem se zabýval dvěma vlastními návrhy energetické jednotky. V prvním návrhu jsem navrhoval ostrovní systém pro jednogenerační rodinný dům mých rodičů. V druhém návrhu jsem navrhoval ostrovní systém pro chatu. Dům i chata leží v katastru obce Mosty u Jablunkova, která spadá do oblasti Moravskoslezského kraje.

## Návrh energetické jednotky pro rodinný dům.

Pro správné nadimenzování celého systému, jsem potřeboval určit celkovou spotřebu el. energie domácnosti. K měření jsem použil monitor distribučních sítí MDS-U a prováděl jsem měsíční měření. Z měření jsem zjistil, že naše domácnost spotřebuje přibližně 320 W el. energie za hodinu a maximální odebíraný zdánlivý výkon je 5000 VA. Z potřebného příkonu, který jsem si změřil, jsem dopočítal potřebnou kapacitu akumulátorů s uvažováním ztrát v systému. S ohledem na ideální klimatické podmínky v obci jsem se rozhodl použít jako primární zdroj el. energie FVP. Uvažoval jsem o dvou variantách. První variantou bylo využívání jen sluneční energie, kde bych potřeboval FVE o instalovaném výkonu 4900 Wp. Z důvodů velkých přebytků el. energie v letních měsících a značným nedostatkům v měsících zimních jsem se rozhodl využít více zdrojů el. energie. Druhou variantou byla FVE menšího výkonu doplněná o malou VTE. Tato varianta se zdá jako ideální, s ohledem na dostatečné množství větru v dané lokalitě. Při návrhu druhé varianty jsem se rozhodl použít FVE o instalovaném výkonu 2660 Wp a VTE o výkonu 1200 W. Z předpokládaného množství vyrobené el. energie je patrné, že k nedostatku el. energie může dojít jen ve 12 měsíci. Kdy bude tento nedostatek el. energie hrazen z elektrocentrály s automatickým startem. Z přebytků el. energie bude ohřívána voda v bojleru a budou napájeny terénní dvojkolky Segway a elektro kola. Dalším důležitým aspektem při návrhu byl výběr vhodného typu akumulátoru. První variantou byly olověné OpZS akumulátory s životností 1300 cyklů a pořizovacími náklady 270 000 Kč. Druhou variantou byly LiFePO<sub>4</sub> články s životností 3000 cyklů a cenou 390 000 Kč. S ohledem na životnost bych doporučil výběr dražší varianty, LiFePO<sub>4</sub> články by měly vydržet předpokládanou životnost celého systému což je 25 let.

Při výpočtu vlastní návratnosti ostrovního systému jsem počítal z meziročním růstem ceny za el. energii o 5 %. Při tomto ročním růstu by se nám prvotní investice vrátila za 25 let, což je předpokládaná životnost celého systému. Za předpokladu, že bychom použili LiFePO<sub>4</sub> články. Pokud by byly použity olověné akumulátory, muselo by v nejlepším případě dojít po 12 letech k výměně a investiční náklady by se opět navýšily.

Rodinné domy, které jsou v blízkosti rozvodných sítí, nejsou pro ostrovní systémy ideální. Jelikož jsou pořizovací náklady takovýchto systémů značně vysoké. Pro takovéto zákazníky, kteří uvažují o pořízení FVE a VTE bych doporučil prodávat přebytečnou vyrobenou el. energii do sítě a využívat tak výhod zeleného bonusu. Pokud by se však investor rozhodl ostrovní systém bude mít skoro 100 % záruku, že nedojde k výpadku el. energie vlivem různých poruch na rozvodné síti, jelikož i při špatných meteorologických podmínkách, které budou trvat i více dní bude systém pracovat bez poruchy.

## Návrh energetické jednotky pro chatu.

Po konzultaci s investorem jsem spočítal celkovou denní spotřebu chaty, ta vyšla na 2,5 kWh. Při vlastním návrhu zdroje el. energie jsem měl informace z předchozího návrhu, kdy jsem navrhoval systém pro rodinný dům. A věděl jsem, že v dané lokalitě vlivem klimatických podmínek vychází nejlépe kombinace FVE a VTE. Pro chatu s touto spotřebou el. energie jsem navrhl použít polykrystalické FVČ o instalovaném výkonu 960 Wp bude umístěna na střeše o sklonu 35°

orientovaná na východ, jelikož na ně nebude dopadat sluneční záření kolmo. Tato FVE bude doplněna o VTE o výkonu 400W. Po vzájemné domluvě s investorem a vysvětlení výhod jsem hned zvolil  $\text{LiFePO}_4$  články s kapacitou 360 A·h a systémovým napětím 24 V. Množství el. energie, které je v akumulátorech uloženo, by mělo vydržet na 2 dny.

Z investičního hlediska vychází tato chata mnohem zajímavěji, jelikož není připojená k rozvodné síti, nejbližší bod možného napojení je ve vzdálenosti 550 m. Samotné napojení by si vyžádalo investice v rozmezí 250 000 Kč až 450 000 Kč. Tato investice by se nadále zvyšovala vlivem rostoucích cen el. energie.

V této diplomové práci jsem se snažil popsat, jak výhody, tak nevýhody ostrovních systémů. Jejich hlavní využití dle mého názoru je na odlehlých místech, horských chatách, samotách nebo na místech kde není připojení k rozvodní síti principálně ani možné. Na takových to místech by se jen pořizovací náklady na připojení k rozvodné síti pohybovaly v řádech sta tisíců nebo milionů. V tom to případě by se prvotní investice do systému vrátila v řádu několika let, ne-li okamžitě.

## Seznam obrázků:

<i>Obr.2.1. Princip vzniku větru [1]</i> .....	- 2 -
<i>Obr.2.2. Mapa rychlosti větru v 10m [23]</i> .....	- 3 -
<i>Obr.2.3. Závislost výkonu větru protékajícího plochou 1 m<sup>2</sup> na jeho rychlosti [1]</i> .....	- 5 -
<i>Obr.2.4. Území vhodná pro výstavbu VTE [24]</i> .....	- 6 -
<i>Obr.2.5. Princip funkce vztakového rotoru [1]</i> .....	- 7 -
<i>Obr.2.6. Princip funkce velké VTE [25]</i> .....	- 8 -
<i>Obr.2.7. Darriüv rotor [10]</i> .....	- 10 -
<i>Obr.2.8. Vrtule [10]</i> .....	- 10 -
<i>Obr.2.9. Větrné kolo[10]</i> .....	- 10 -
<i>Obr.2.10. Množství dopadající sluneční energie na m<sup>2</sup> [26]</i> .....	- 13 -
<i>Obr.2.11. Množství slunečních dnů v ČR [26]</i> .....	- 13 -
<i>Obr.2.12. Princip přímé přeměny energie slunečního záření na elektrickou s využitím fotoelektrického jevu. [1]</i> .....	- 14 -
<i>Obr.2.13. Princip fotoelektrického jevu [1]</i> .....	- 15 -
<i>Obr.2.14. Náhradní schéma fotovoltaiického článku[1]</i> .....	- 16 -
<i>Obr.2.15. Zatěžovací a výkonová charakteristika FVČ [1]</i> .....	- 17 -
<i>Obr.2.16. Vliv teploty na výkon FVČ [1]</i> .....	- 18 -
<i>Obr.2.17. Vliv intenzity slunečního záření na výkon FVČ [1]</i> .....	- 18 -
<i>Obr.2.18. Polykrystalický článek [27]</i> .....	- 19 -
<i>Obr.2.19. Monokrystalický článek [27]</i> .....	- 19 -
<i>Obr.2.20. Amorfni článek [27]</i> .....	- 19 -
<i>Obr.2.21. Systém s přímým napájením [11]</i> .....	- 21 -
<i>Obr.2.22. Systém s akumulací energie [11]</i> .....	- 22 -
<i>Obr.2.23. Ostrovní systém (12 V i 230 V) [11]</i> .....	- 22 -
<i>Obr.2.24. Porovnání V-A charakteristik při použití klasického solárního regulátoru a MPPT měniče [28]</i> .....	- 27 -
<i>Obr.2.25. Provozní napětí na článek akumulátoru LiFePO<sub>4</sub></i> .....	- 30 -
<i>Obr.2.26. Průběh modifikované sinusovky[21]</i> .....	- 33 -
 <i>Obr.3.1. Roční průběh sluneční a větrné energie</i> .....	- 34 -
<i>Obr.3.2. Graf měsíčního příkonu rodinného domu</i> .....	- 35 -
<i>Obr.3.3. Graf teoretické měsíční spotřeby rodinného domu el. energie se započítáním ztrát v systému.</i> - 37 -	
<i>Obr.3.4. Graf teoretické vyrobené el. energie z FVP o výkonu 100 Wp</i> .....	- 39 -
<i>Obr.3.6. Graf teoretického množství vyrobené el. energie z FVE o výkonu 2660 Wp</i> .....	- 40 -
<i>Obr.3.5. Graf teoretické vyrobené el. energie z FVP o výkonu 4900 Wp</i> .....	- 40 -
<i>Obr.3.7. Graf průměrné rychlosti větru v Mostech u Jablunkova</i> .....	- 41 -
<i>Obr.3.9. Výkonová charakteristika VTE AP2500</i> .....	- 42 -
<i>Obr.3.8. Výkonová charakteristika VTE AP1200</i> .....	- 42 -

<i>Obr.3.10. Teoretické množství vyrobené el. energie z VTE AP1200 a AP2500</i> .....	- 43 -
<i>Obr.3.11. Teoretické množství vyrobené el. energie z FVE a VTE pro každý zdroj zvlášť</i> .....	- 44 -
<i>Obr.3.12. Teoretický součet vyrobené el. energie z FVE a VTE</i> .....	- 44 -
<i>Obr.3.13. FVP IBC MonoSol 190Wp/24V [18]</i> .....	- 46 -
<i>Obr.3.14. MPPT měniče BlueSolar 150/70[18]</i> .....	- 47 -
<i>Obr.3.15. VTE AP1200 [29]</i> .....	- 48 -
<i>Obr.3.16. Hoppecke OPzS 12V – 200 Ah [18]</i> .....	- 49 -
<i>Obr.3.17. LFP400AHA</i> .....	- 50 -
<i>Obr.3.18. Střídač SINUS Victron Energy Phoenix 5000VA [18]</i> .....	- 51 -
<i>Obr.3.19. Elektrocentrála Briggs&amp;Stratton PRO MAX 6000EA [13]</i> .....	- 52 -
<i>Obr.4.1. Graf teoretické měsíční spotřeby el. energie se započítáním ztrát v systému</i> .....	- 55 -
<i>Obr.4.2. Graf teoretické vyrobené el. energie z FVP o výkonu 100 Wp při azimuthu 90°</i> .....	- 57 -
<i>Obr.4.3. Graf teoretického množství vyrobené el. energie z FVE o výkonu 960 Wp</i> .....	- 58 -
<i>Obr.5.4. Výkonová charakteristika VTE AP400</i> .....	- 58 -
<i>Obr.4.5. Teoretické množství vyrobené el. energie z VTE AP400</i> .....	- 59 -
<i>Obr.4.6. Teoretické množství vyrobené el. energie pro každý zdroj zvlášť</i> .....	- 60 -
<i>Obr.4.7. Celkové teoretické množství vyrobené el. energie</i> .....	- 60 -
<i>Obr.4.8. IBC PolySol 240Wp/24V [18]</i> .....	- 62 -
<i>Obr.4.9. MPPT měnič BlueSolar 40A 12V/24V [18]</i> .....	- 63 -
<i>Obr.4.10. VTE AP400 [29]</i> .....	- 64 -
<i>Obr.4.11. LP12V90AH</i> .....	- 65 -
<i>Obr.4.12. Střídač SINUS Victron Energy Phoenix C 2000VA[18]</i> .....	- 66 -
<i>Obr.4.13. Elektrocentrála Briggs&amp;Stratton PRO MAX 3500EA [13]</i> .....	- 67 -
<i>Obr.5.1. Předpokládaný růst cen za el. energii pro náš rodinný dům</i> .....	- 69 -
<i>Obr.5.2. Předpokládaná návratnost systému pro rodinný dům připojený k rozvodné síti</i> .....	- 70 -
<i>Obr.5.3. Předpokládaná návratnost pro chatku, pokud by byla připojená k rozvodné síti</i> .....	- 70 -
<i>Obr.5.4. Celkové investiční náklady, při různém způsobu napojování k rozvodné síti</i> .....	- 71 -

### Seznam tabulek:

<i>Tab.2. 1. Exponent závislosti na drsnosti povrchu</i> .....	- 4 -
<i>Tab.2. 2. Srovnání olověného a LiFePO<sub>4</sub> akumulátoru</i> .....	- 30 -
<i>Tab. 3.1. Energie vyrobená z fotovoltaického panelu o výkonu 100 Wp</i> .....	- 38 -
<i>Tab. 3.2. Teoretické množství vyrobené el. energie z VTE AP1200 a AP2500</i> .....	- 43 -
<i>Tab. 3.3. Parametry FVP</i> .....	- 45 -

<i>Tab. 3.4. Parametry MPPT měniče.....</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Tab. 3.5. Parametry VTE .....</i>	<i>- 48 -</i>
<i>Tab. 3.6. Parametry OpZS akumulátorů .....</i>	<i>- 49 -</i>
<i>Tab. 3.7. Parametry LiFePO<sub>4</sub> akumulátorů .....</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Tab. 3.8. Parametry střídače.....</i>	<i>- 51 -</i>
<i>Tab. 3.9. Parametry elektrocentrály .....</i>	<i>- 52 -</i>
<i>Tab. 3.10. Celkové investiční náklady pro rodinný dům .....</i>	<i>- 53 -</i>
<i>Tab.4.1. Energie vyrobená z fotovoltaického panelu o výkonu 100 Wp a odklonění od jihu o 90° ..</i>	<i>- 56 -</i>
<i>Tab.4.2. Teoretické množství vyrobené el. energie z VTE AP400.....</i>	<i>- 59 -</i>
<i>Tab.4.3. Parametry FVP .....</i>	<i>- 61 -</i>
<i>Tab.4.4. Parametry MPPT měniče.....</i>	<i>- 63 -</i>
<i>Tab.4.5. Parametry VTE .....</i>	<i>- 64 -</i>
<i>Tab.4.6. Parametry LiFePO<sub>4</sub> akumulátorů .....</i>	<i>- 65 -</i>
<i>Tab.4.7. Parametry střídače.....</i>	<i>- 66 -</i>
<i>Tab.4.8. Parametry elektrocentrály .....</i>	<i>- 67 -</i>
<i>Tab.4.9. Celkové investiční náklady pro chatu .....</i>	<i>- 68 -</i>

## Seznam použité literatury:

- [1] P. Mastný, J. Drápela, S. Mišák, J. Macháček, M. Ptáček, L. Radil, T. Bartošík a T. Pavelka; *Obnovitelné zdroje elektrické energie*; Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 256 s., ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] S. MIŠÁK, L. PROKOP; *Ostrovní napájecí systémy využívající OZE*; časopis ELEKTRO 10/2011, ISSN 1210-0889.
- [3] A. Henze, W. Hillebrand; *Elektrický proud ze slunce*; Ostrava : HEL, 2000 136 s. ISBN: 80-86167-12-7.
- [4] R. Haselhuhn; *Fotovoltaika - Budovy jako zdroj proudu*; Ostrava : HEL, 2010 176 s. ISBN: 978-80-86167-33-6.
- [5] H. Crome; *Technika využití energie větru - Svépomocná stavba větrných zařízení*; Ostrava : HEL, 2002 144 s. ISBN: 80-86167-19-4.
- [6] V. S. Bagockij, A. M. Skundin; *Elektrochemické zdroje proudu*; Praha : SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1987 340 s.
- [7] Spvez, Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů [online]; [cit. 20. října 2012]  
Dostupné z WWW: <http://www.spvez.cz/pages/vitr.htm>
- [8] *Stavební zákon a vyhlášky*; Ostrava : Sagit, 2013 448 s. T02100953
- [9] Vosvdf - Vyšší odborná škola a střední průmyslová škola Varnsdorf; *Větrné elektrárny*; [online]; [23. října 2012]  
Dostupné z: <http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/489/obnovitelne-zdroje/Vetrne%20elektrarny.pdf>
- [10] V. Rychetník; *Větrné motory*; Nakladatelství VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1995 61 s. ISBN 80-7078-281-1
- [11] SOLARENVI a.s. ; [online]; [20. ledna 2013]  
Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/sluncni-elektrarny/typy-instalaci/off-grid-ostrovní-system/>
- [12] ATOLL EUROPE s.r.o.; prodej a instalace záložních zdrojů motorgenerátory; [online]; [cit. 02. ledna 2013] Dostupné z: <http://www.atoll-europe.cz/eshop/technologie-elektrocentraly>
- [13] Karel Řehák – elektrocentrály [online]; [cit. 20. ledna 2013]  
Dostupné z: <http://www.elektrocentraly.cz>
- [14] HNILICA, P. *Solární moduly*; [online], [cit. 15. února 2013].  
Dostupné z: <http://www.solarnimoduly.cz>
- [15] M. CENEK, J. JINDRA, M. JON, J. KAZELLE, J. KOZUMPLÍK a J. VRBA; *Akumulátory: od principu k praxi*; Praha: FCC PUBLIC, 2003 248 s. ISBN 80-86534-03-0.
- [16] HNILICA, P. *Měniče napětí*; [online], [cit. 15. února 2013].  
Dostupné z: <http://www.menice-napeti.cz>



- [17] Fotovolt system s.r.o.; *Princip fungování fotovoltaiky*; [online], [cit. 26. února 2013].  
Dostupné z: <http://www.fotovoltssystem.cz/technologie/>
- [18] Neosolar, spol. s r.o. [online], [cit. 16. března 2013].  
Dostupné z: <http://www.neosolar.cz/>
- [19] Návod k obsluze - Lithiové články a baterie LiFePO<sub>4</sub>; [online], [cit. 03. března 2013].  
Dostupné z: <http://www.i4wifi.cz/img.asp?attid=248576>
- [20] GWL/Power: WB-LYP400AHA LiFeYPO<sub>4</sub> (3.2V/400Ah) ; [online], [cit. 03. března 2013].  
Dostupné z: [http://www.i4wifi.cz/wb-lyp400aha-lifeypo4-3-2v-400ah-\\_d1706.html](http://www.i4wifi.cz/wb-lyp400aha-lifeypo4-3-2v-400ah-_d1706.html)
- [21] SOLARTEC s.r.o.; *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování*; [online], [05. března 2013].
- [22] Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps [online].  
[cit. 09. března 2013]. PVGIS. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>
- [23] ScienceWeek, *Aktuální články ze světa vědy a techniky*; [online], [cit. 21. listopadu 2012].  
Dostupné z: <http://www.scienceweek.cz/cache/images/50/8c7e54bf6838102434b5db2b9b54a71af84c697e.png>
- [24] tzbinfo, technická zařízení budov; [cit. 24. listopadu 2012].  
Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4279-problematika-pripojovani-vetnych-elektren-do-distribuci-site>
- [25] EkoWATT, centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie; [online],  
[cit. 24. listopadu 2012]. Dostupné z: [http://www.ekowatt.cz/img/uvod/vitr\\_03.jpg](http://www.ekowatt.cz/img/uvod/vitr_03.jpg)
- [26] Nemačej.cz; [online], [cit. 15. prosince 2012]  
Dostupné z: <http://www.nemačej.cz/navratnost-fotovoltaicke-elektreny.php>
- [27] Rady Kutilům; Rady, návody, inspirace a triky, jak pro kutily, tak pro ne kutily;  
[online], [cit. 10. února 2013]  
Dostupné z: <http://www.rady-kutilum.com/httpwwwrady-kutilumcomfotkyskuteceamo1.jpg-100>
- [28] altE store [online], [cit. 15. února 2013]  
Dostupné z: <http://www.altestore.com/store/Charge-Controllers/Solar-Charge-Controllers/MPPT-Solar-Charge-Controllers/Morningstar-MPPT-Solar-Controllers/Morningstar-SunSaver-MPPT-15A-Charge-Controller/p6185/>
- [29] AERPLAST s.r.o. [online], [cit. 15. dubna 2013]  
Dostupné z: <http://www.vetrne-elektreny.eu/>